

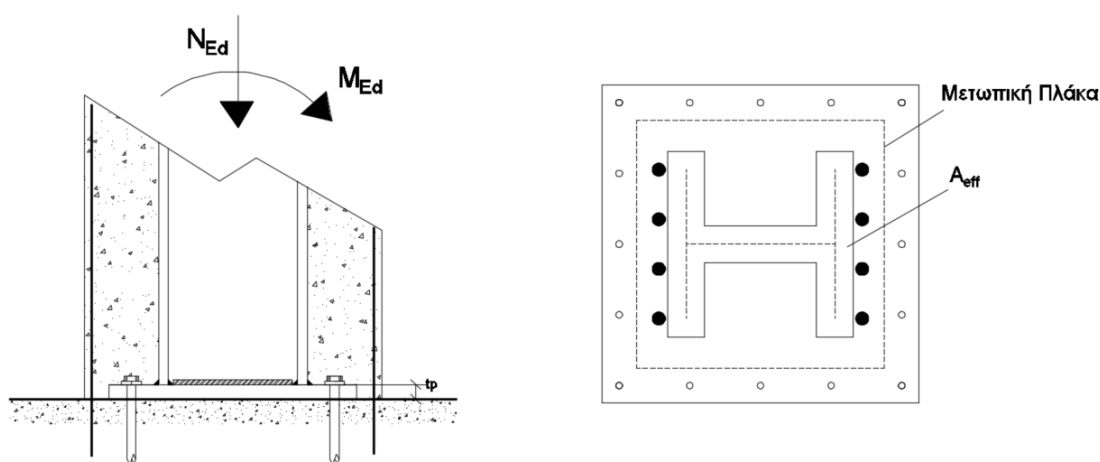


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

## Έδραση συμμίκτου υποστυλώματος σε μετωπική πλάκα θεμελίου



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Νικόλαος Ε. Μπέης

Επιβλέπων: Ιωάννης Κ. Βάγιας

Αθήνα, Μάρτιος 2016

ΕΜΚ ΔΕ 2015/32



Μπέης Ν. Ε. (2015).  
Έδραση συμμίκτου υποστυλώματος σε μετωπική πλάκα θεμελίου  
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2015/32  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Beis N. E. (2015).  
The seating/bearing of a composite column on the base plate of a foundation  
Diploma Thesis ΕΜΚ ΔΕ 2015/32  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece





## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Ευχαριστίες .....	5
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1 Ιστορική Αναδρομή.....	6
1.2 Έδραση των συμμίκτων υποστρωμάτων σε μετωπική πλάκα θεμελίου .....	7
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΡΘΟ .....	8
2.1 Εισαγωγή.....	8
2.2 Αποσπάσματα Ευρωκωδίκων .....	8
2.2.1 Ευρωκώδικας 2, Μέρος 1, Παράγραφος 6.7: Περιοχές με Συγκεντρωμένη Φόρτιση..	8
2.2.2 Ευρωκώδικας 3, Μέρος 1.8, Παράγραφος 3.6: Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένων κοχλιών και πριτσινιών .....	9
2.2.3 Ευρωκώδικας 3, Μέρος 1.8, Παράγραφος 6.2.4: Ισοδύναμο βραχύ T σε Εφελκυσμό .....	14
2.2.4 Ευρωκώδικας 3, Μέρος 1.8, Παράγραφος 6.2.5: Ισοδύναμο Στέλεχος Μορφής T σε Θλίψη .....	18
2.2.5 Ευρωκώδικας 3, Μέρος 1.8, Παράγραφος 6.2.6.4: Πέλμα υποστρώματος σε Εγκάρσια Κάμψη .....	20
2.2.6 Ευρωκώδικας 3, Μέρος 1.8, Παράγραφος 6.2.6.5: Μετωπική πλάκα σε Κάμψη .....	25
2.3 Σύμμικτα Υποστρώματα Κεφάλαιο 7ο .....	28
7.1 Γενικά.....	28
7.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά.....	30
7.3 Αντοχή διατομών .....	33
7.4 Ευστάθεια .....	43
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ.....	45
3.1 Εισαγωγή.....	45
3.2 Ανάλυση.....	45
3.2.1 Δεδομένα.....	45
3.2.2 Μέθοδος Επίλυσης.....	51
3.2.2.1 Αντοχή τμήματος της πλάκας έδρασης προς την πλευρά των εφελκόμενων αγκυρίων .....	51

3.2.2.2	Διαστάσεις ενεργού θεμελίου .....	53
3.2.2.3	Αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος.....	54
3.2.2.4	Αντοχή επαφής της έδρασης.....	55
3.2.2.5	Ενεργός επιφάνεια έδρασης.....	56
3.2.2.6	Ενεργά μήκη στον οριζόντιο και στον κατακόρυφο άξονα .....	57
3.2.3	Χάραξη καμπύλης αλληλεπίδρασης $M_{Rd} - N_{Rd}$ .....	60
3.2.3.1	Δυνάμεις και Τάσεις .....	66
3.2.3.2	Οριζόντιος Άξονας – Ισχυρός Άξονας.....	71
3.2.3.3	Κατακόρυφος Άξονας – Ασθενής Άξονας.....	77
3.2.4	Έλεγχοι Δεδομένων .....	81
4.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	91
4.1	Εισαγωγή.....	91
4.2	Παραμετρική Διερεύνηση .....	91
4.2.1	Μεταβλητός Αριθμός Αγκυρίων.....	92
4.2.2	Μεταβλητή Ποιότητα Δομικού Χάλυβα.....	94
4.2.3	Μεταβλητό Πάχος Μετωπικής Πλάκας.....	96
4.2.4	Μεταβλητή Διατομή Σιδηροδοκού .....	98
4.2.5	Μεταβλητή Διάμετρος Οπλισμού .....	100
4.2.6	Μεταβλητή Ποιότητα Αγκυρίων .....	102
5.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	104

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΜΚ ΔΕ 2015/32

**Έδραση συμμίκτου υποστυλώματος σε μετωπική πλάκα θεμελίου**

Μπέης Ν. Ε. (Επιβλέπων: Βάγιας Ι.)

**Περίληψη:**

Στόχος της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η δημιουργία ενός προγράμματος ή αλλιώς ενός υπολογιστικού μοντέλου, το οποίο θα παρέχει την δυνατότητα στο χρήστη να γνωρίζει άμεσα την αντοχή της έδρασης ενός συμμίκτου υποστυλώματος, τόσο σε αξονική καταπόνηση, όσο και σε μονοαξονική κάμψη περί τον ισχυρό ή τον ασθενή άξονα. Η αντοχή της έδρασης του συμμίκτου υποστυλώματος δίνεται στη μορφή διαγράμματος αλληλεπίδρασης, το οποίο προσεγγιστικά είναι σε μορφή πολυγωνικού διαγράμματος. Τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης είναι διαγράμματα 5 σημείων, έτσι ώστε να ανταποκρίνονται όσο το δυνατόν περισσότερο στην πραγματικότητα.

Για την επίτευξη αυτού του στόχου, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Excel. Το πρόγραμμα όμως δεν σταματάει εκεί. Ιδιαίτερη προσπάθεια καταβλήθηκε ώστε και το ίδιο το πρόγραμμα να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, κι αυτό επετεύχθη με τις ελάχιστες συμβάσεις και παραδοχές που έγιναν. Επίσης, χρησιμοποιήθηκε και η γλώσσα προγραμματισμού *Visual Basic for Applications* (του Microsoft Excel) και συντάχθηκαν εντολές, ώστε το πρόγραμμα να είναι άρτιο και ρεαλιστικό.

Το Πρόγραμμα αυτό είναι ένα εύχρηστο εργαλείο για κάθε μηχανικό και εύκολο στην κατανόηση του. Καλύπτει όλες τις απαιτήσεις ενός στατικού προγράμματος, καθώς δίνει μια ξεκάθαρη εικόνα της γεωμετρίας της έδρασης και του θεμελίου που μελετάει ο χρήστης και με τη βοήθεια ελέγχων, εντός του προγράμματος, αποτρέπεται η πιθανή λανθασμένη γεωμετρία της έδρασης. Τέλος, υπολογίζονται οι μηχανισμοί αστοχίας των σημείων των διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης, ώστε να γνωρίζει ο χρήστης τους κινδύνους που αντιμετωπίζει η μελέτη του.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES

DIPLOMA THESIS  
EMK ΔE 2015/32

**Footing of a composite column base on an end plate of a foundation**

Beis N. E. (Supervised by: Vayas I.)

**Abstract:**

The aim of this thesis is the creation of a program, otherwise of a calculating model, which will provide the user with the ability, to know the strength of a composite column on its footing promptly, not only under an axial load, but under uniaxial bending stress applied on the major or the minor axis. The strength of the seating of the composite column is given in the form of an interaction diagram, approximately in the form of a polygonal diagram. The interaction diagrams are 5-point diagrams, so as to correspond to reality as much as possible.

In order to achieve this, Microsoft Excel was used. Though the program does not stop there. Too much effort has been put, so that the program itself corresponds to reality and that was achieved thanks to the minimum treaties that have been made. Additionally, programming language was used, *Visual Basic for Applications* (“running” at the background of Microsoft Excel) and commands were composed so that the program is whole and realistic.

This program is a handy tool for every mechanic and it is quite easy to comprehend. It covers every aspect and requirement of a static program, as it provides the user with a clear image of the seating he or she is examining. Through the help of some checks, inside the program, false geometry of a research is prevented. Last but not least, the failure modes are estimated, so that the user of the program can be aware of the risks his research is facing.

## Ευχαριστίες

Ευχαριστώ εγκάρδια τον κ. Ιωάννη Βάγια, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, ο οποίος με ενθάρρυνε και με εμπιστεύτηκε για να αναλάβω την παρούσα Διπλωματική Εργασία. Οι πολύτιμες συμβουλές και οι επιστημονικές κατευθυντήριες οδηγίες του, συνετέλεσαν στην δημιουργία της Διπλωματικής αυτής Εργασίας, παρόλες τις δυσκολίες της εκπόνησης λόγω πρωτοτυπίας του θέματος.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ανδρέα Σπηλιόπουλο, Υποψήφιο διδάκτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ, για τις χρήσιμες ιδέες και παρατηρήσεις του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της Διπλωματικής μου Εργασίας.

Ευχαριστώ την οικογένειά μου που όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μου ήταν δίπλα μου, στηρίζοντάς με σε κάθε μου ενέργεια και δυσκολία. Πιστεύοντας σε μένα, μου έδιναν δύναμη να συνεχίσω να κυνηγώ το βέλτιστο.

Ευχαριστώ τους φίλους μου, καθώς κι αυτοί με τη σειρά τους με στήριξαν κι έδειξαν την πίστη τους σε μένα.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στο αδελφικό μου φίλο και Μηχανικό Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Τηλεπικοινωνιών & Δικτύων, Χρήστο Κωνσταντά, χάρη στον οποίο η παρούσα Διπλωματική Εργασία υλοποιήθηκε και δεν έμεινε απλά μία ιδέα αποτυπωμένη στο χαρτί. Η βοήθεια του στην σύνταξη των εντολών ήταν καθοριστική στη δημιουργία ενός πρωτότυπου και ιδιαίτερα ρεαλιστικού Προγράμματος.

Αθήνα, Μάρτιος 2016

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η χρήση του χάλυβα ως δομικού υλικού ξεκίνησε στη γεφυροποιία και στις βιομηχανικές κατασκευές λόγω της ανάγκης κάλυψης μεγάλων ανοιγμάτων αλλά και της απαίτησης μεγαλύτερου ύψους στα κτίρια. Η εμφάνιση των πρώτων σιδηρών γεφυρών και των πρώτων σιδηρών βιομηχανικών οικοδομικών έργων έγινε στην Ευρώπη το 19<sup>ο</sup> αιώνα. Τουναντίον, η χρήση του χάλυβα σε κτίρια έγινε σε ουρανοξύστες της Αμερικής, μόλις στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα στο Σικάγο.

Οι απαιτήσεις στη μείωση του χρόνου κατασκευής, στην αύξηση των ανοιγμάτων σε γέφυρες και κτίρια αλλά και η εξαιρετική αντισεισμική συμπεριφορά του χάλυβα, ήταν οι λόγοι που οδήγησαν στη μεταστροφή στη χρήση του χάλυβα ως δομικό υλικό. Επίσης, η μείωση της τιμής της παραγωγής προϊόντων χάλυβα, η μείωση των τιμών της πυροπροστασίας και η εξέλιξη των συστημάτων τυποποίησης συνετέλεσαν στην αύξηση του αριθμού των οικοδομικών έργων από χάλυβα.

Συνεπώς, το ποσοστό των κτιρίων σε πολλές χώρες στο σύνολο των κτιρίων είναι αρκετά αυξημένο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η Ιαπωνία, στην οποία το ποσοστό των μεταλλικών κτιρίων είναι γύρω στο 65%. Στη Αγγλία απαντάται ένα ποσοστό γύρω στο 60%, ενώ στη Στοκχόλμη 80%. Επίσης, μεγάλη εφαρμογή βρίσκουν τα μεταλλικά κτίρια και στις υπόλοιπες σκανδιναβικές χώρες.

Στην Ελλάδα παρόλο που η σεισμικότητα είναι αυξημένη, για μεγάλο χρονικό διάστημα κυριάρχησε το οπλισμένο σκυρόδεμα ως δομικό υλικό, με αποτέλεσμα το ποσοστό των μεταλλικών κτιρίων στη χώρα μας να είναι ακόμη πολύ μικρό. Παρόλα αυτά, τα τελευταία 20 χρόνια, χάρη στην καλή συμπεριφορά που είχαν τα κτίρια έναντι του σεισμού της Αθήνας το 1999, έχει παρατηρηθεί ολοένα και περισσότερη χρήση του χάλυβα ως δομικού υλικού.

Καθώς η χρήση του χάλυβα στα κτίρια είναι συνδεδεμένη με τη συνεργασία πλακών από σκυρόδεμα και σιδηροδοκών σε μορφή συμμίκτων στοιχείων, με την κατάλληλη διατμητική σύνδεση αυτών των δύο, οδηγηθήκαμε στις σύμμικτες δοκούς. Άλλα στοιχεία από σύμμικτη κατασκευή είναι οι σύμμικτες πλάκες και τα σύμμικτα υποστυλώματα.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η πυροπροστασία των χαλύβδινων στοιχείων, η οποία αντιμετωπίζεται με τον εγκιβωτισμό αυτών στο σκυρόδεμα. Η πυροπροστασία των συμμίκτων υποστυλωμάτων επιτυγχάνεται κι αυτή με τη σειρά της με πρόβλεψη σιδηροπλισμού στο εσωτερικό της διατομής. Η μεγάλη αντοχή των συμμίκτων στοιχείων, η μεγάλη δυσκαμψία τους και η παραλαβή μεγάλων αξονικών δυνάμεων και ροπών είναι οι λόγοι που τα σύμμικτα δομικά στοιχεία υπερτερούν των υπολοίπων.

## 1.2 Έδραση των συμμίκτων υποστυλωμάτων σε μετωπική πλάκα θεμελίου

Τα πλεονεκτήματα των συμμίκτων δομικών στοιχείων αλλά και η έλλειψη δεδομένων, αναφορών και κανονισμών στην κατασκευή συμμίκτων θεμελίων ήταν οι λόγοι που προέτρεψαν την έμπνευση αυτού του θέματος και ώθησαν τη δημιουργία του προγράμματος υπολογισμού της αντοχής της έδρασης των συμμίκτων υποστυλωμάτων, της γεωμετρίας της διατομής της έδρασης και του υπόλοιπου θεμελίου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της διπλωματικής παρουσιάζεται το υπόβαθρο της διπλωματικής εργασίας. Το υπόβαθρο ήταν διάφορες παράγραφοι των Ευρωκωδίκων 2 και 3, αλλά και κεφάλαια από συγγράμματα καθηγητών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Το θέμα που πραγματεύεται η διπλωματική εργασία είναι κάτι καινούργιο και γι' αυτόν το λόγο έγινε προσπάθεια δημιουργίας του προγράμματος, με βάση τις ελάχιστες αναφορές και τους λιγοστούς κανονισμούς που υπάρχουν.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση του προγράμματος. Εξηγείται ο τρόπος με τον οποίο υπολογίζονται οι δυνάμεις, οι μοχλοβραχίονες, οι ροπές και όλα τα υπόλοιπα μεγέθη που απαιτήθηκαν για την ολοκλήρωση του προγράμματος. Γίνεται σαφής ο τρόπος με τον οποίο προκύπτουν τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης, που δείχνουν την αντοχή της έδρασης της διατομής και είναι και τα αποτελέσματα της όλης διπλωματικής. Εξηγούνται επίσης, οι έλεγχοι οι οποίοι πραγματοποιούνται εντός του προγράμματος για την αποφυγή λαθών στη γεωμετρία της διατομής αλλά και λάθη σχετικά με τους ισχύοντες κανονισμούς.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται διαγράμματα αλληλεπίδρασης που προέκυψαν από την παραμετρική διερεύνηση, η οποία πραγματοποιήθηκε προκειμένου να φανεί η επιρροή της μεταβολής ενός στοιχείου της διατομής στην αντοχή της διατομής της έδρασης, όταν όλα τα υπόλοιπα στοιχεία διατηρούνται σταθερά.

## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΡΘΟ

### 2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται όλα τα αποσπάσματα και οι παράγραφοι των Ευρωκωδίκων που χρησιμοποιήθηκαν ως θεωρητικό υπόβαθρο για την υλοποίηση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Σημειωτέον, οι παράγραφοι των Ευρωκωδίκων έχουν μεταφραστεί με ακρίβεια από τα Αγγλικά και γι' αυτόν τον λόγο έχουν διατηρηθεί οι ακριβείς αριθμοί των εξισώσεων, των πινάκων και των σχημάτων.

Επίσης, παρατίθενται και κεφάλαια από τα συγγράμματα στα οποία βασίστηκε η διπλωματική εργασία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα, όπως θα φανεί και πιο κάτω είναι το 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο «Σύμμικτα υποστυλώματα» από το βιβλίο του κ. Βάγια Ιωάννη, «Σύμμικτες κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα». Οι παράγραφοι του κεφαλαίου αυτού που απαιτήθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν αυτούσιες, έτσι ώστε ο αναγνώστης της παρούσας διπλωματικής εργασίας και ο χρήστης του Προγράμματος να γνωρίζει επακριβώς που βασίστηκε η εργασία, κι αν επιθυμεί να ανατρέξει κι ο ίδιος στην πηγή.

### 2.2 Αποσπάσματα Ευρωκωδίκων

#### 2.2.1 Ευρωκώδικας 2, Μέρος 1, Παράγραφος 6.7: Περιοχές με Συγκεντρωμένη Φόρτιση

- (1) Στις περιοχές με συγκεντρωμένη φόρτιση θα εξετάζονται η τοπική συντριβή του σκυροδέματος (δείτε παρακάτω) και οι εγκάρσιες εφελκυστικές δυνάμεις.
- (2) Για ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο επί μιας επιφάνειας  $A_{c0}$ , βλ. Σχ. 6.29, η ανθιστάμενη μοναχική δύναμη μπορεί να προσδιορίζεται ως εξής:

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \sqrt{A_{c1} / A_{c0}} \leq 3,0 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} \quad \dots (6.63)$$

όπου:

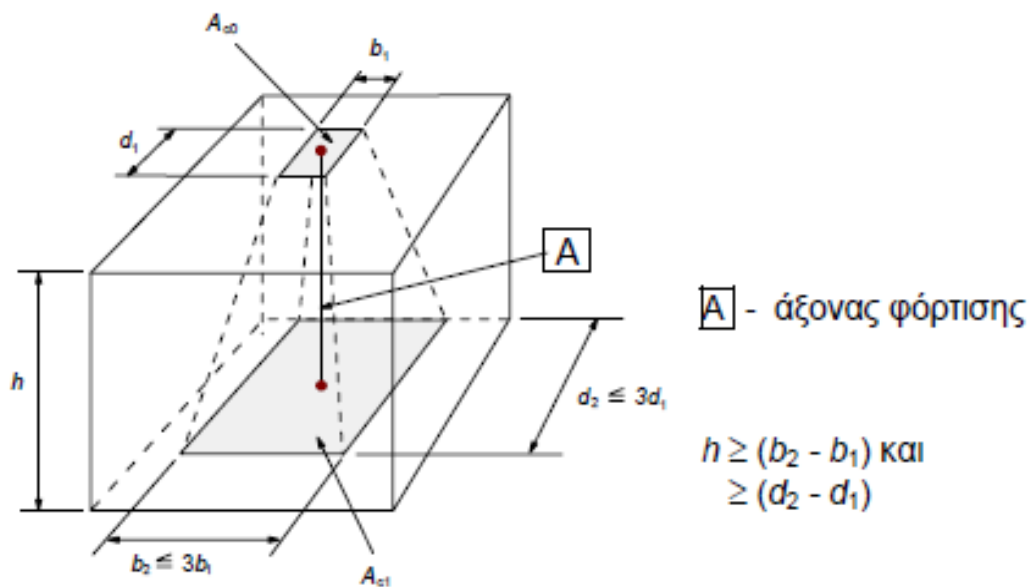
$A_{c0}$  είναι η φορτιζόμενη επιφάνεια,

$A_{c1}$  είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη επιφάνεια κατανομής με σχήμα όμοιο με αυτό του  $A_{c0}$

- (3) Η επιτρεπόμενη επιφάνεια  $A_{c1}$  που απαιτείται για την κατανομή της ανθιστάμενης δύναμης  $F_{Rdu}$  πρέπει να πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Το ύψος για την κατανομή του φορτίου προς τη διεύθυνση φόρτισης πρέπει να ανταποκρίνεται στις συνθήκες που δίνονται στο Σχ. 6.29.
- Το κέντρο της επιτρεπόμενης επιφάνειας κατανομής  $A_{c1}$  πρέπει να βρίσκεται επί του άξονα της φόρτισης που διέρχεται από το κέντρο της φορτιζόμενης επιφάνειας  $A_{c0}$
- Εάν στη διατομή του σκυροδέματος δρα παραπάνω από μία θλιπτική δύναμη, οι επιφάνειες κατανομής που θα χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό δεν πρέπει να αλληλεπικαλύπτονται.

Η τιμή της  $F_{Rdu}$  πρέπει να μειωθεί αν το φορτίο δεν κατανέμεται ομοιόμορφα επί της επιφάνειας  $A_{c0}$  ή αν η τιμή της τέμνουσας είναι υψηλή.



**Σχήμα 6.29: Παραδοχές κατανομής φορτίου σε περιοχές με συγκεντρωμένη φόρτιση**

- (4) Πρέπει να τοποθετείται οπλισμός για την παραλαβή της εφελκυστικής δύναμης που δημιουργείται λόγω της φόρτισης.

## 2.2.2 Ευρωκώδικας 3, Μέρος 1.8, Παράγραφος 3.6: Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένων κοχλιών και πριτσινιών

### 3.6.1 Κοχλίες και Πριτσίνια

- (1) Η αντοχή σχεδιασμού ενός μεμονωμένου κοχλία ή πριτσινιού που υποβάλλεται σε διάτμηση ή/ και σε εφελκυσμό δίνεται στον Πίν. 3.4.

- (2) Για προεντεταμένους κοχλίες σύμφωνα με την § 3.1.2 (1), η δύναμη προέντασης  $F_{p,Cd}$  που χρησιμοποιείται στους ελέγχους σχεδιασμού δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$F_{p,Cd} = 0,7 * f_{ub} * A_s / \gamma_{M7} \quad \dots(3.1)$$

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Εκεί όπου η προένταση δεν χρησιμοποιείται στους ελέγχους σχεδιασμού, οι οδηγίες που δίνονται στον Πίν. 3.2, πρέπει να ακολουθούνται.

- (3) Οι αντοχές σχεδιασμού έναντι σε εφελκυσμό και σε διάτμηση του σπειρώματος ενός κοχλία που δίνονται στον Πίν. 3.4, πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο για κοχλίες που έχουν παραχθεί σύμφωνα με τα 2.8 Πρότυπα Αναφοράς: Ομάδα 4. Για κοχλίες με αποκοπτόμενο σπείρωμα, όπως οι κοχλίες αγκυρώσεως ή οι συνδετικές ράβδοι που έχουν παραχθεί από χαλύβδινες ράβδους, όπου οι αυχένες τους μορφώνονται σύμφωνα με τον EN1090, οι σχετικές τιμές από τον Πίν. 3.4, πρέπει να χρησιμοποιούνται. Για κοχλίες με αποκοπτόμενο σπείρωμα, όπου το σπείρωμά τους δεν μορφώνεται σύμφωνα με τον EN1090, οι σχετικές τιμές από τον Πίν. 3.4, πρέπει να πολλαπλασιάζονται με τον μειωτικό συντελεστή 0,85.
- (4) Η διατμητική αντοχή σχεδιασμού  $F_{v,Rd}$ , που δίνεται στον Πίν. 3.4, πρέπει να χρησιμοποιείται όταν κοχλίες χρησιμοποιούνται σε οπές με ονομαστική ανοχή που δεν ξεπερνάει αυτή των κανονικών οπών, όπως ορίζεται από τα 2.8 Πρότυπα Αναφοράς: Ομάδα 7.
- (5) Για κοχλίες M12 και M14 επιτρέπεται ανοχή οπής 2, με την προϋπόθεση ότι η αντοχή σχεδιασμού της ομάδας κοχλιών σε σύνθλιψη άντυγας είναι μεγαλύτερη ή ίση της αντοχής σε διάτμηση. Επιπλέον για τις κατηγορίες κοχλιών 4.8, 5.8, 6.8, 8.8 και 10.9 η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση  $F_{v,Rd}$  πρέπει να μειώνεται από την τιμή που δίνεται στον Πίν. 3.4 με τον συντελεστή 0,85.
- (6) Οι εφαρμοσμένοι κοχλίες πρέπει να σχεδιάζονται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο για κοχλίες με κανονικές οπές.
- (7) Το σπείρωμα ενός εφαρμοσμένου κοχλία δεν πρέπει να διέρχεται από το επίπεδο διάτμησης.
- (8) Το μήκος του σπειρώματος ενός εφαρμοσμένου κοχλία που διέρχεται από το μήκος της άντυγας δεν πρέπει να ξεπερνάει το 1/3 του πάχους της πλάκας, βλ. Σχ. 3.2.
- (9) Η ανοχή των οπών που χρησιμοποιείται στους εφαρμοσμένους κοχλίες θα πρέπει να είναι σύμφωνη με τα Πρότυπα Αναφοράς: Ομάδα 7.
- (10) Σε κόμβους απλής επικάλυψης με μία σειρά κοχλιών, βλ. Σχ. 3.3, οι κοχλίες πρέπει να εφοδιάζονται με δακτυλίους τόσο κάτω από την κεφαλή του κοχλία όσο και κάτω από το περικόχλιο. Η αντοχή σχεδιασμού για κάθε κοχλία πρέπει να περιορίζεται από την εξίσωση:

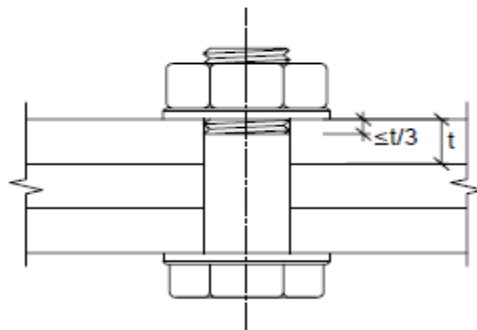
$$F_{b,Rd} \leq 0,7 \cdot f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} \quad \dots(3.2)$$

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Μονά πριτσίνια δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται σε κόμβους απλής επικάλυψης.

- (11) Στην περίπτωση κοχλιών ποιότητας 8.8 ή 10.9, πρέπει να χρησιμοποιούνται σκληρυμένοι δακτύλιοι σε κόμβους απλής επικάλυψης με μόνο ένα κοχλία ή μία σειρά κοχλιών.
- (12) Εκεί όπου κοχλίες ή πριτσίνια μεταφέρουν τη διατμητική δύναμη και σύνθλιψη άντυγας μέσω υποθεμάτων συνολικού πάχους μεγαλύτερου από το ένα τρίτο της ονομαστικής τους διαμέτρου, βλ. Σχ. 3.4, η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση που υπολογίζεται όπως ορίζεται στον Πίν. 3.4, πρέπει να πολλαπλασιάζεται επί ένα μειωτικό συντελεστή  $\beta_p$  που δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

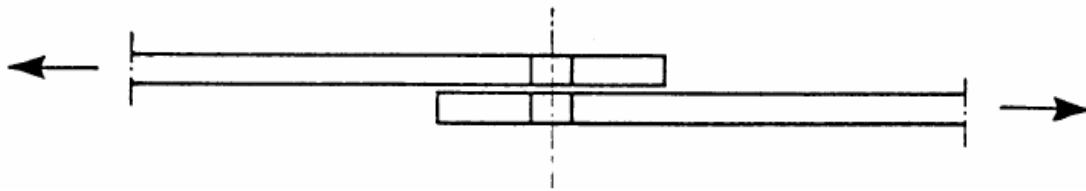
$$\beta_p = \frac{9d}{8d+3 t_p} \quad \text{αλλά } \beta_p \leq 1 \quad \dots(3.3)$$

- (13) Σε συνδέσεις με δύο επίπεδα διάτμησης με υποθέματα και στις δύο πλευρές της ένωσης, ως πάχος  $t_p$  λαμβάνεται το μεγαλύτερο από τα δύο.
- (14) Οι πριτσινωτές συνδέσεις πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να μεταφέρουν δυνάμεις διάτμησης. Εάν υπάρχει εφελκυσμός, η εφελκυστική δύναμη σχεδιασμού  $F_{t,Ed}$  δεν πρέπει να ξεπερνάει την εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού  $F_{t,Rd}$  που δίνεται στον Πίν. 3.4.
- (15) Για ποιότητα χάλυβα S235 ως “καθαρή” εφελκυστική αντοχή  $f_{ur}$  πρέπει να λαμβάνεται η τιμή  $400 \text{ N/mm}^2$ .
- (16) Ως γενικός κανόνας, το μήκος του αυχένα ενός πριτσινιού δεν πρέπει να ξεπερνάει τα  $4,5d$  για ήλους και  $6,5d$  για πριτσίνια.

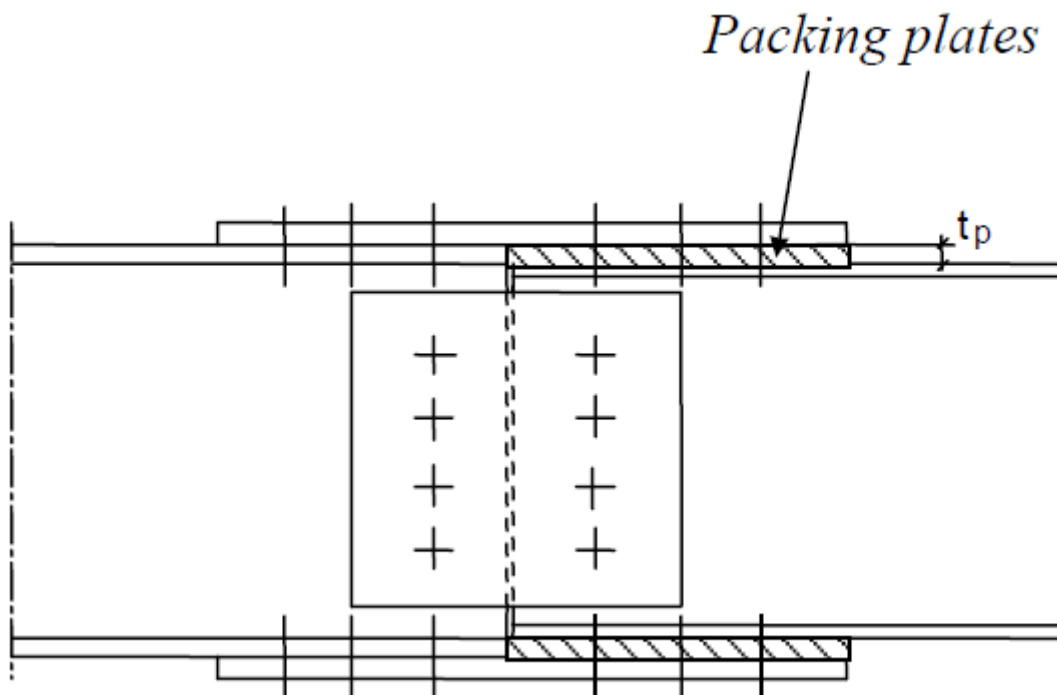


**Σχήμα 3.2:** Τμήμα του κορμού με σπείρωμα στην άντυγα για εφαρμοσμένους κοχλίες





Σχήμα 3.3: Κόμβος απλής επικάλυψης με μία σειρά κοχλιών



Σχήμα 3.4: Μεταφορά διατμητικής δύναμης μέσω υποθεμάτων

(Packing Plate = Υπόθεμα)

**Πίνακας 3.4: Αντοχή σχεδιασμού μεμονωμένων κοχλιών και πριτσινιών σε συνδέσεις άντυγας έναντι διατμητικών και / ή εφελκυστικών δυνάμεων**

Μηχανισμός Αστοχίας	Κοχλίες	Πριτσίνια
Αντοχή σε διάτμηση ανά επίπεδο διάτμησης	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- όταν το επίπεδο διάτμησης διέρχεται από το σπείρωμα του κοχλία (A είναι η επιφάνεια ενεργού διατομής του κοχλία As): <ul style="list-style-type: none"> <li>- για κατηγορίες 4.6, 5.6, 8.8: <math>\alpha_v = 0,6</math></li> <li>- για κατηγορίες 4.8, 5.8, 6.8 και 10.9: <math>\alpha_v = 0,5</math></li> </ul> </li> <li>- όταν το επίπεδο διάτμησης διέρχεται από την πλήρη διατομή του κοχλία (A είναι η καθαρή επιφάνεια κοχλία): <math>\alpha_v = 0,6</math></li> </ul>	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * f_{ur} * A_0}{\gamma_{M2}}$
Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας <sup>1), 2), 3)</sup>	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * a_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$ <p>όπου <math>a_b = \min \{ \alpha_d; f_{ub}/f_u; 1,0 \}</math></p> <p>Κατά τη διεύθυνση μεταφοράς του φορτίου:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- για τελευταία σειρά κοχλιών <math>\alpha_d = e_1/(3d_0)</math></li> <li>- για εσωτερικούς κοχλίες <math>\alpha_d = p_1/(3d_0) - 0,25</math></li> </ul> <p>Κάθετα στη διεύθυνση μεταφοράς του φορτίου:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- για πλευρικά ακραίους κοχλίες <math>k_1 = \min \{ 2,8 * (e_2/d_0) - 1,7; 2,5 \}</math></li> <li>- για εσωτερικούς κοχλίες <math>k_1 = \min \{ 1,4 * (p_2/d_0) - 1,7; 2,5 \}</math></li> </ul>	
Αντοχή σε εφελκυσμό <sup>2)</sup>	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>όπου <math>k_2 = 0,63</math> για κοχλία βυθισμένης κεφαλής αλλιώς <math>k_2 = 0,90</math></p>	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 * f_{ur} * A_0}{\gamma_{M2}}$
Αντοχή σε διάτρηση	$B_{p,Rd} = 0,6 * \pi * d_m * t_p * f_u / \gamma_{M2}$	Δεν χρειάζεται έλεγχος
Ταυτόχρονη διάτμηση και εφελκυσμός	$F_{v,Ed} / F_{v,Rd} + F_{t,Ed} / (1,4 * F_{t,Rd}) \leq 1,0$	

- 1) Η αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας  $F_{b,Rd}$  κοχλιών:
  - σε υπερμεγέθεις οπές είναι το 80% της αντοχής σε σύνθλιψη άντυγας κοχλιών σε κανονικές οπές
  - σε επιμήκεις τρύπες, όπου ο διαμήκης άξονας της οπής είναι κάθετος στη διεύθυνση μεταφοράς του φορτίου, είναι το 60% της αντοχής σε σύνθλιψη άντυγας κοχλιών σε κανονικές οπές.
- 2) Για κοχλίες βυθισμένης κεφαλής:
  - η αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας  $F_{b,Rd}$  πρέπει να υπολογίζεται με βάση πάχος ελάσματος ίσο με το πλάτος του συνδεόμενου ελάσματος μείον το μισό της βύθισης
  - για τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό  $F_{t,Rd}$  η γωνία και το ύψος της βύθισης πρέπει να συμφωνούν με τα Πρότυπα Αναφοράς: Ομάδα 4, διαφορετικά η αντοχή σε εφελκυσμό πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα.
- 3) Όταν το φορτίο σε ένα κοχλία δεν είναι παράλληλο προς την ακμή του μέλους, η αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας μπορεί να ελέγχεται χωριστά για τις συνιστώσες του φορτίου που είναι παράλληλες και κάθετες προς την ακμή.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:**  $\alpha_b = \min \{ 1,0; f_{ub}/f_u; e_1/3*d_0; p_1/3*d_0 - 0,25 \}$

## 2.2.3 Ευρωκώδικας 3, Μέρος 1.8, Παράγραφος 6.2.4: Ισοδύναμο βραχύ T σε Εφελκυσμό

### 6.2.4.1 Γενικά

- (1) Σε κοχλιωτές συνδέσεις ένα ισοδύναμο βραχύ T μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μοντελοποίηση της αντοχής σχεδιασμού των ακόλουθων βασικών στοιχείων:
  - Πέλμα υποστυλώματος σε κάμψη
  - Μετωπική πλάκα σε κάμψη
  - Γωνιά πέλματος σε κάμψη
  - Πλάκα έδρασης υπό κάμψη και εφελκυσμό
- (2) Οι μέθοδοι για τη μοντελοποίηση των βασικών αυτών στοιχείων ως ισοδύναμα πέλματα βραχέων T, συμπεριλαμβανομένων των τιμών που χρησιμοποιούνται, δίνονται στην § 6.2.6.
- (3) Οι πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας του πέλματος ενός ισοδύναμου βραχέος T μπορούν να θεωρηθούν όμοιοι με αυτούς που αναμένονται να συμβούν στο βασικό στοιχείο το οποίο αντιπροσωπεύουν.
- (4) Το συνολικό ενεργό μήκος  $\sum l_{eff}$  ενός ισοδύναμου βραχέος T, βλ. Σχ. 6.2, πρέπει να είναι τέτοιο, ώστε η αντοχή σχεδιασμού του πέλματος του να είναι ισοδύναμη με αυτή του βασικού στοιχείου το οποίο αντιπροσωπεύει.

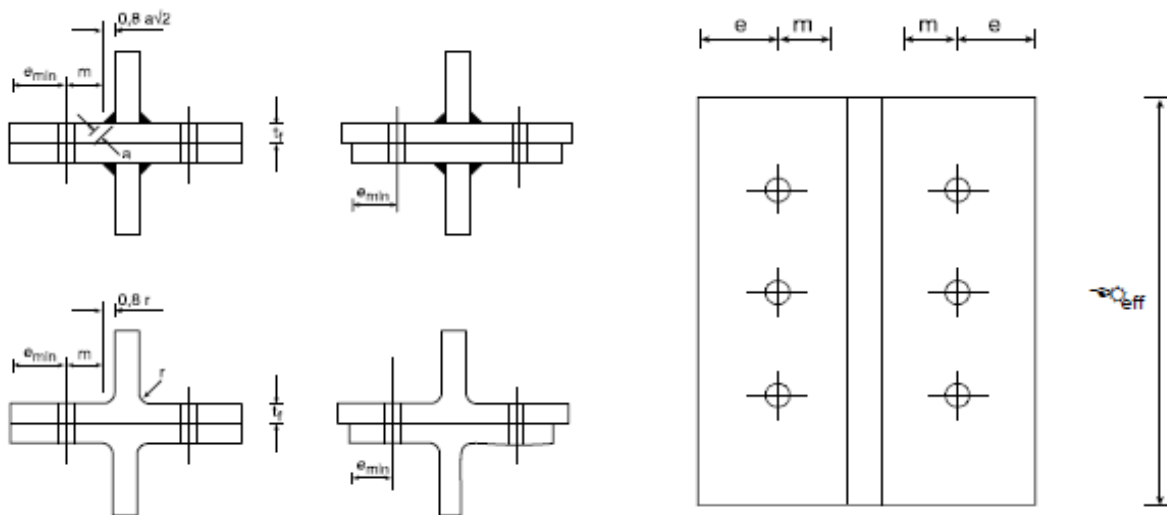
**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Το συνολικό ενεργό μήκος ενός ισοδύναμου βραχέος T είναι θεωρητικό μήκος και δεν ανταποκρίνεται απαραίτητα στο φυσικό μήκος του βασικού στοιχείου της σύνδεσης, το οποίο αντιπροσωπεύει.

(5) Η εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού του πέλματος ενός βραχέος T πρέπει να καθορίζεται σύμφωνα με τον Πίν. 6.2.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Οι δυνάμεις επαφής λαμβάνονται έμμεσα υπόψη για τον καθορισμό της εφελκυστικής αντοχής σχεδιασμού σύμφωνα με τον Πίν. 6.2.

(6) Σε περιπτώσεις όπου δυνάμεις επαφής ενδέχεται να εμφανιστούν, βλ. Πίν. 6.2, ως εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού του πέλματος ενός ισοδύναμου βραχέος T  $F_{T,Rd}$  θα πρέπει να λαμβάνεται η μικρότερη τιμή των τριών πιθανών μηχανισμών αστοχίας 1, 2 και 3.

(7) Σε περιπτώσεις όπου δυνάμεις επαφής ενδέχεται να μην εμφανιστούν, βλ. Πίν. 6.2, ως εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού του πέλματος ενός ισοδύναμου βραχέος T  $F_{T,Rd}$  θα πρέπει να λαμβάνεται η μικρότερη τιμή των δύο πιθανών μηχανισμών αστοχίας 1-2 και 3.



**Σχήμα 6.2:** Διαστάσεις ενός ισοδύναμου πέλματος βραχέος T

**Πίνακας 6.2: Αντοχή σχεδιασμού ενός πέλματος βραχέος T**

	Δυνατότητα εμφάνισης δυνάμεων επαφής (δηλ. $L_b \leq L_b^*$ )		Χωρίς δυνάμεις επαφής
<b>Μηχανισμός 1</b>	Μέθοδος 1	Μέθοδος 2 (εναλλακτική μέθοδος)	$F_{T,1-2,Rd} = \frac{2 M_{pl,1,Rd}}{m}$
Χωρίς ενισχυτικά ελάσματα	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n-2ew)*M_{pl,1,Rd}}{2m*n-ew*(m+n)}$	
Με ενισχυτικά ελάσματα	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}+2M_{bp,Rd}}{m}$	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n-2ew)*M_{pl,1,Rd}+4n*M_{bp,Rd}}{2m*n-ew*(m+n)}$	
<b>Μηχανισμός 2</b>	$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd}+n*\Sigma F_{t,Rd}}{m+n}$		
<b>Μηχανισμός 3</b>	$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd}$		

Μηχανισμός 1: Πλήρης διαρροή του πέλματος  
 Μηχανισμός 2: Αστοχία κοχλία με διαρροή του πέλματος  
 Μηχανισμός 3: Αστοχία κοχλία

$L_b$  είναι - η επιμήκυνση του κοχλία, η οποία είναι ίση με το μήκος του αυχένα (συνολικό πάχος του υλικού και της ροδέλας), συν το μισό άθροισμα της κεφαλής του κοχλία και του παξιμαδιού ή  
 - η επιμήκυνση του κοχλία αγκυρώσεως / αγκυρίου, η οποία είναι ίση με το άθροισμα των α) 8 φορές την ονομαστική διάμετρο του κοχλία β) το πάχος του κονιάματος γ) το πάχος της μετωπικής πλάκας δ) το πάχος της ροδέλας ε) το μισό ύψος του παξιμαδιού

$L_b^* = (8,8*m^3*A_s) / (\Sigma l_{eff,1}*t_f^3)$

$F_{T,Rd}$  είναι η εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού ενός πέλματος βραχέος T

$Q$  είναι η δύναμη επαφής

$M_{pl,1,Rd} = 0,25*\Sigma l_{eff,1}*t_f^2*f_y / \gamma_{M0}$

$M_{pl,2,Rd} = 0,25*\Sigma l_{eff,2}*t_f^2*f_y / \gamma_{M0}$

$M_{bp,Rd} = 0,25*\Sigma l_{eff,1}*t_{bp}^2*f_{y,bp} / \gamma_{M0}$

$n = e_{min}$  αλλά  $n \leq 1,25m$

$F_{t,Rd}$  είναι η εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού ενός κοχλία, βλ. Πίνακα 3.4

$\Sigma F_{t,Rd}$  είναι η συνολική τιμή των  $F_{t,Rd}$  όλων των κοχλιών σε ένα βραχύ T

$\Sigma l_{eff,1}$  είναι η τιμή του  $\Sigma l_{eff}$  για τον μηχανισμό 1

$\Sigma l_{eff,2}$  είναι η τιμή του  $\Sigma l_{eff}$  για τον μηχανισμό 2

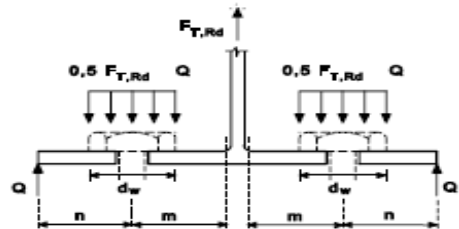
$e_{min}, m, t_f$  υποδεικνύονται στο Σχήμα 6.2

$f_{y,bp}$  είναι η αντοχή διαρροής των ενισχυτικών ελασμάτων

$t_{bp}$  είναι το πάχος των ενισχυτικών ελασμάτων

$e_w = d_w / 4$

$d_w$  είναι η διάμετρος της ροδέλας ή το πλάτος μεταξύ σημείων της κεφαλής ή του παξιμαδιού, ανάλογα με την περίπτωση



ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1: Σε κοχλιωτές συνδέσεις δοκού με υποστήλωμα ή σε συνδέσεις δοκών, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι θα αναπτυχθούν δυνάμεις επαφής.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2: Στη μέθοδο 2, η δύναμη που ασκείται στο πέλμα βραχέος T θεωρείται ότι κατανέμεται ομοιόμορφα κάτω από τη ροδέλα, την κεφαλή ή το παξιμάδι, ανάλογα με την περίπτωση, δείτε σχήμα, αντί να συγκεντρώνεται στον άξονα του κοχλία. Αυτή η υπόθεση οδηγεί σε μία μεγαλύτερη τιμή εφελκυστικής αντοχής του Μηχανισμού 1, χωρίς να επηρεάζει τις τιμές  $F_{T,1-2,Rd}$  των Μηχανισμών 2 & 3.

#### 6.2.4.2 Μεμονωμένες σειρές κοχλιών, ομάδες κοχλιών και ομάδες σειρών κοχλιών

- (1) Παρόλο που οι δυνάμεις σε ένα πραγματικό πέλμα βραχέος  $T$  είναι ίσες σε κάθε σειρά κοχλιών, όταν ένα ισοδύναμο πέλμα βραχέος  $T$  χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση ενός βασικού συστατικού απαριθμημένου στην § 6.2.4.1(1), πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η διαφορά στις δυνάμεις κάθε σειράς κοχλιών.
- (2) Όταν χρησιμοποιείται προσεγγιστικά ένα ισοδύναμο βραχύ  $T$  για την μοντελοποίηση μίας ομάδας σειρών κοχλιών, μπορεί να είναι απαραίτητο να χωριστεί η ομάδα κοχλιών σε ξεχωριστές σειρές κοχλιών και να χρησιμοποιηθεί ένα ισοδύναμο βραχύ  $T$  για την μοντελοποίηση κάθε ξεχωριστής σειράς κοχλιών.
- (3) Όταν χρησιμοποιείται προσεγγιστικά το βραχύ  $T$  για την μοντελοποίηση μίας ομάδας σειρών κοχλιών, πρέπει να ικανοποιούνται οι ακόλουθες συνθήκες:
  - a) η δύναμη κάθε σειράς κοχλιών δεν θα πρέπει να ξεπερνάει την αντοχή σχεδιασμού που προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη μόνο τη συγκεκριμένη μεμονωμένη σειρά κοχλιών
  - b) η συνολική δύναμη κάθε ομάδας σειρών κοχλιών, που συμπεριλαμβάνει δύο ή περισσότερες προσκείμενες σειρές κοχλιών στην ίδια ομάδα κοχλιών, δεν πρέπει να ξεπερνάει την αντοχή σχεδιασμού αυτής της ομάδας σειρών κοχλιών.
- (4) Όταν προσδιορίζεται η αντοχή σχεδιασμού ενός βασικού στοιχείου που αντιπροσωπεύεται από ένα ισοδύναμο πέλμα βραχέος  $T$ , πρέπει να υπολογισθούν οι ακόλουθες παράμετροι:
  - a) η μέγιστη αντοχή σχεδιασμού μίας ξεχωριστής σειράς κοχλιών, προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη μόνο τη συγκεκριμένη σειρά κοχλιών
  - b) η συνεισφορά κάθε σειράς κοχλιών στη μέγιστη αντοχή σχεδιασμού δύο ή περισσότερων προσκείμενων σειρών κοχλιών σε μία ομάδα κοχλιών, προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη μόνο εκείνες τις σειρές κοχλιών.
- (5) Στην περίπτωση μεμονωμένης σειράς κοχλιών το συνολικό ενεργό μήκος  $\sum l_{\text{eff}}$  πρέπει να λαμβάνεται ίσο με το ενεργό μήκος  $l_{\text{eff}}$ , πινακοποιημένο στην § 6.2.6 για τη αυτή τη σειρά κοχλιών η οποία λαμβάνεται ως μεμονωμένη σειρά κοχλιών.
- (6) Στην περίπτωση ομάδας σειρών κοχλιών το συνολικό ενεργό μήκος  $\sum l_{\text{eff}}$  πρέπει να λαμβάνεται ως το άθροισμα των ενεργών μηκών  $l_{\text{eff}}$ , πινακοποιημένων στην § 6.2.6 για κάθε σχετική σειρά κοχλιών, η οποία λαμβάνεται ως μέρος ομάδας κοχλιών.

## 2.2.4 Ευρωκώδικας 3, Μέρος 1.8, Παράγραφος 6.2.5: Ισοδύναμο Στελέχος Μορφής T σε Θλίψη

- (1) Σε συνδέσεις χάλυβα-σκυροδέματος, το πέλμα ενός ισοδύναμου στελέχους μορφής T ή αλλιώς ενός βραχέος T σε συμπίεση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μοντελοποιησει τις αντοχές του σχεδιασμού για το συνδυασμό των ακόλουθων βασικών στοιχείων:
  - η πλάκα έδρασης χάλυβα ή αλλιώς *μετωπική πλάκα* σε κάμψη υπό την πίεση της έδρασης στο θεμέλιο,
  - το σκυρόδεμα και / ή το κονίαμα σύνδεσης στην έδραση.
- (2) Το συνολικό μήκος  $l_{eff}$  και το συνολικό πλάτος  $b_{eff}$  ενός ισοδύναμου βραχέος T, θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε η αντοχή σχεδιασμού σε θλίψη του στελέχους να είναι ισοδύναμη με εκείνη του βασικού στοιχείου σύνδεσης, που αυτό αντιπροσωπεύει.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Το ενεργό μήκος και το ενεργό πλάτος ενός ισοδύναμου βραχέος T είναι θεωρητικά μήκη και μπορεί να είναι μικρότερα ή ίσα με τις φυσικές διαστάσεις του βασικού στοιχείου σύνδεσης, που αυτό αντιπροσωπεύει.

- (3) Η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού ενός πέλματος βραχέος T  $F_{C,Rd}$ , πρέπει να προσδιορίζεται ως εξής:

$$F_{C,Rd} = f_{jd} * b_{eff} * l_{eff} \quad \dots(6.4)$$

όπου:

$b_{eff}$  είναι το ενεργό πλάτος του πέλματος βραχέος T, βλ. 6.2.5(5) και 6.2.5(6)

$l_{eff}$  είναι το ενεργό μήκος του πέλματος βραχέος T, βλ. 6.2.5(5) και 6.2.5(6)

$f_{jd}$  είναι η δύναμη αντοχής της έδρασης στη σύνδεση, βλ. 6.2.5(7)

- (4) Οι δυνάμεις που μεταφέρονται μέσω ενός βραχέος T θα πρέπει να θεωρηθούν ότι εκτείνονται ομοιόμορφα, όπως φαίνεται στο Σχ. 6.4 (α) και (β). Η πίεση στην προκύπτουσα περιοχή έδρασης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τη δύναμη σχεδιασμού  $f_j$  και το πρόσθετο πλάτος της έδρασης,  $c$ , δεν πρέπει να υπερβαίνει:

$$c = t * [f_y / (3 * f_j * \gamma_{M0})]^{0.5} \quad \dots(6.5)$$

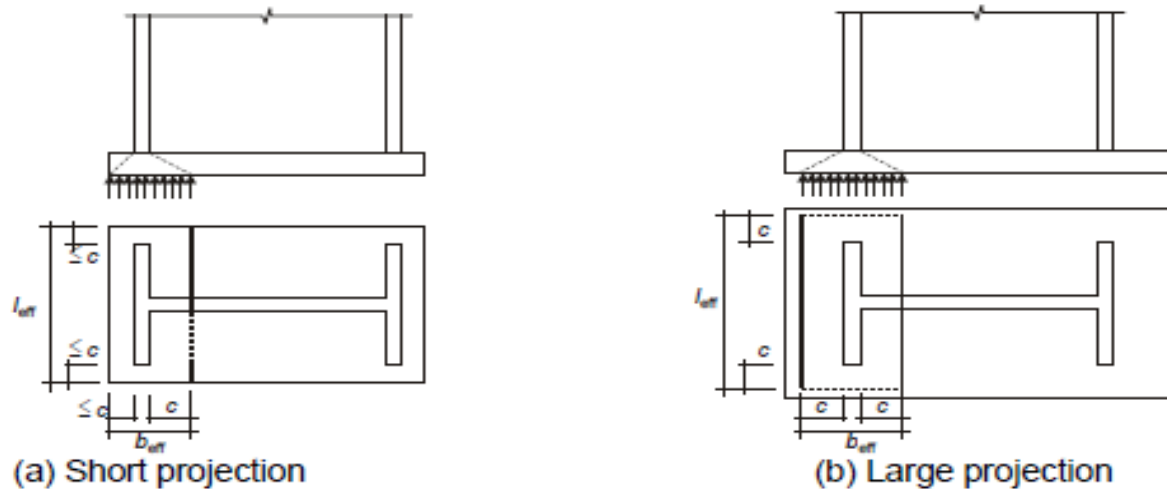
όπου:

$t$  είναι το πάχος του πέλματος του βραχέος T

$f_j$  είναι η αντοχή διαρροής του πέλματος του βραχέος T

- (5) Εκεί όπου η προβολή του φυσικού μήκους του βασικού στοιχείου της σύνδεσης, που αντιπροσωπεύεται από το βραχύ T, είναι λιγότερο από  $c$ , η ενεργή περιοχή θα πρέπει να ληφθεί όπως υποδεικνύεται στο Σχ. 6.4 (α).

- (6) Εκεί όπου η προβολή του φυσικού μήκους του βασικού στοιχείου της σύνδεσης, που αντιπροσωπεύεται από το βραχύ T, ξεπερνάει την τιμή του  $c$ , το τμήμα της πρόσθετης προβολής πέρα από το πλάτος  $c$  πρέπει να αμεληθεί, βλ. Σχ. 6.4 (β).



Σχήμα 6.4: Περιοχή Ισοδύναμου βραχέος T σε θλίψη

- (7) Η δύναμη σχεδιασμού έδρασης της σύνδεσης  $f_{jd}$  θα πρέπει να καθορίζεται από:

$$f_{jd} = \beta_j * F_{Rdu} / (b_{eff} * l_{eff}) \quad \dots(6.6)$$

όπου:

$\beta_j$  είναι ο συντελεστής του υλικού σύνδεσης του θεμελίου, ο οποίος μπορεί να ληφθεί ως  $2/3$  υπό την προϋπόθεση ότι η χαρακτηριστική αντοχή του κονιάματος δεν είναι μικρότερη από  $0,2$  φορές τη χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος θεμελίωσης και το πάχος του κονιάματος δεν είναι μεγαλύτερο από  $0,2$  φορές το μικρότερο πλάτος της πλάκας έδρασης χάλυβα ή αλλιώς της μετωπικής πλάκας. Σε περιπτώσεις όπου το πάχος του κονιάματος είναι μεγαλύτερο από  $50$  mm, η χαρακτηριστική αντοχή του κονιάματος πρέπει να είναι τουλάχιστον η ίδια με εκείνη του σκυροδέματος θεμελίωσης.

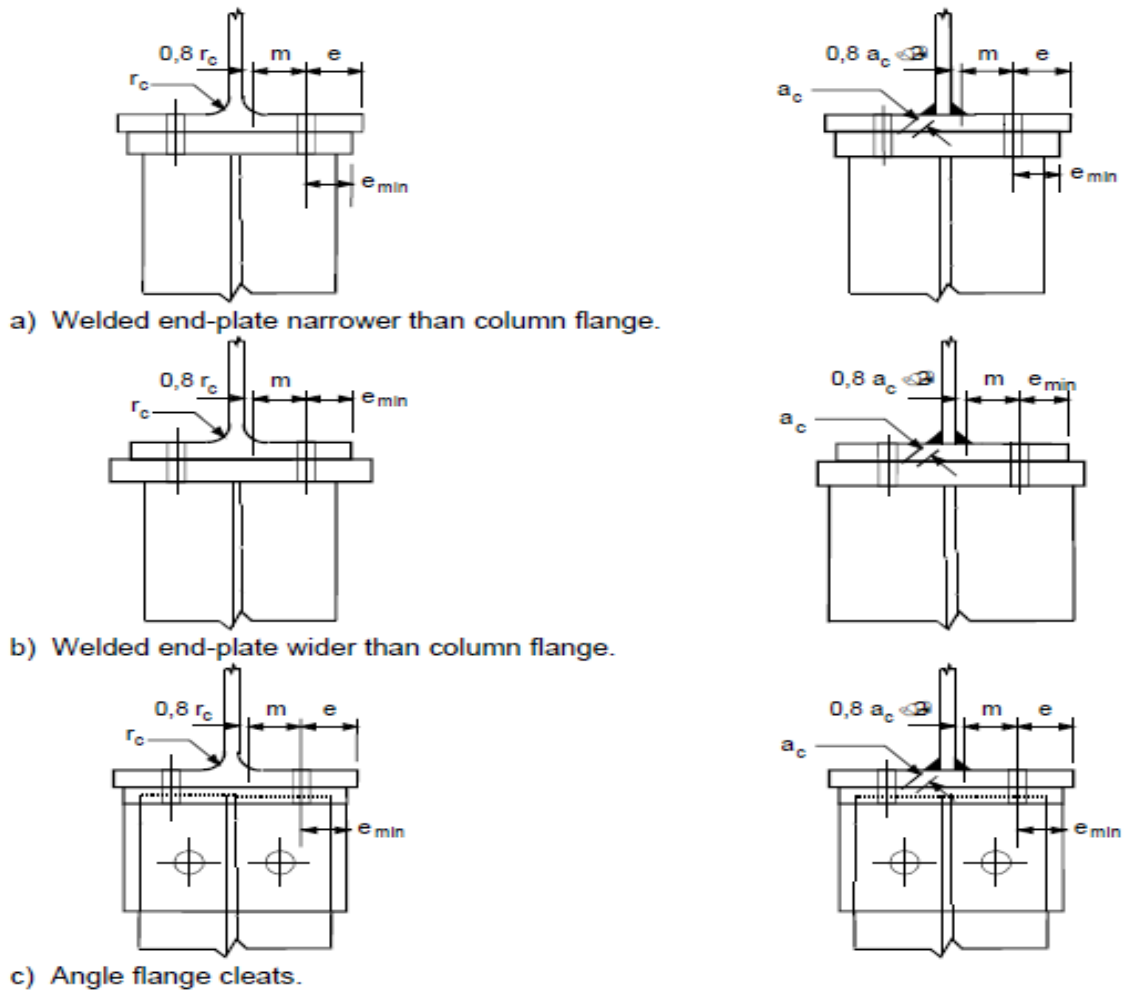
$F_{Rdu}$  είναι η συγκεντρωμένη δύναμη αντίστασης σχεδιασμού που δίνεται στον EN 1992, όπου το  $A_{c0}$  πρέπει να λαμβάνεται ως  $(b_{eff} * l_{eff})$ .



## 2.2.5 Ευρωκώδικας 3, Μέρος 1.8, Παράγραφος 6.2.6.4: Πέλμα υποστυλώματος σε Εγκάρσια Κάμψη

### 6.2.6.4.1 Μη ενισχυμένο πέλμα υποστυλώματος, κοχλιωτή σύνδεση

- (1) Η αντοχή σχεδιασμού και ο μηχανισμός αστοχίας ενός μη ενισχυμένου πέλματος ενός υποστυλώματος σε εγκάρσια κάμψη, μαζί με τους συνεργαζόμενους εφελκυσμένους κοχλίες, θα πρέπει να λαμβάνονται ως όμοια με τους αυτά ενός ισοδύναμου πέλματος του βραχέος T, βλ. § 6.2.4 για:
  - κάθε μεμονωμένη σειρά κοχλιών που απαιτείται για να αντισταθεί στον εφελκυσμό
  - κάθε ομάδα από σειρές κοχλιών που απαιτείται για να αντισταθεί στον εφελκυσμό.
- (2) Οι διαστάσεις  $e_{min}$  και  $m$  που χρησιμοποιούνται στην § 6.2.4, θα πρέπει να προσδιορίζονται σύμφωνα με το Σχ. 6.8.
- (3) Το ενεργό μήκος του ισοδύναμου πέλματος του βραχέος T, θα πρέπει να καθορίζεται για τις επιμέρους σειρές κοχλιών και τις ομάδες κοχλιών, σύμφωνα με την § 6.2.4.2, από τις τιμές που δίνονται για κάθε σειρά κοχλιών στον Πίν. 6.4.



Σχήμα 6.8: Ορισμοί των  $e$ ,  $e_{min}$ ,  $r_c$  και  $m$

Μετάφραση:

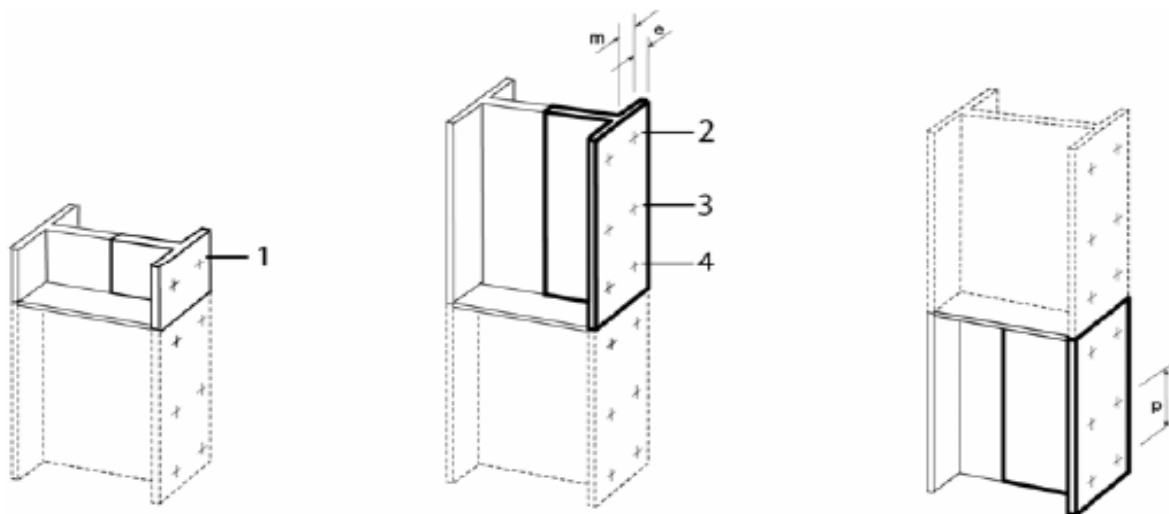
- a) Συγκολλημένη μετωπική πλάκα στενότερη από το πέγμα υποστυλώματος
- b) Συγκολλημένη μετωπική πλάκα ευρύτερη από το πέγμα υποστυλώματος
- c) Γωνιές ενίσχυσης πελμάτων

**Πίνακας 6.4: Ενεργά μήκη μη ενισχυμένου πέλματος υποστρώματος**

Θέση σειράς κοχλιών	Σειρά κοχλιών θεωρούμενη ως μεμονωμένη		Σειρά κοχλιών θεωρούμενη ως μέλος ομάδας σειρών κοχλιών	
	Κυκλικές μορφές $l_{eff,cp}$	Μη κυκλικές μορφές $l_{eff,nc}$	Κυκλικές μορφές $l_{eff,cp}$	Μη κυκλικές μορφές $l_{eff,nc}$
Εσωτερική σειρά κοχλιών	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Ακραία σειρά κοχλιών	Το μικρότερο από: $2\pi m$ $\pi m + 2e1$	Το μικρότερο από: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e1$	Το μικρότερο από: $\pi m + p$ $2e1 + p$	Το μικρότερο από: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e1 + 0,5p$
Μηχανισμός 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ αλλά $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ αλλά $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
Μηχανισμός 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	
<p>Το προεξέχον τμήμα της μετωπικής πλάκας και το τμήμα μεταξύ των πελμάτων της δοκού προσομοιώνονται ως δύο ξεχωριστά ισοδύναμα βραχέα T.</p> <p>Όταν υπολογίζεται η αντοχή του ισοδύναμου βραχέος T για το προεξέχον τμήμα της μετωπικής πλάκας, χρησιμοποιούνται τα μεγέθη <math>e_x</math> και <math>m_x</math> στη θέση των <math>e</math> και <math>m</math>.</p>				

#### 6.2.6.4.2 Ενισχυμένο πέγμα υποστρώματος, κοχλιωτή σύνδεση με μετωπική πλάκα ή

- (1) Εγκάρσιες ενισχύσεις ή / και κατάλληλες συνθέσεις διαγώνιων ενισχύσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αυξήσουν την αντοχή σχεδιασμού του πέλματος του υποστρώματος σε κάμψη.
- (2) Η αντοχή σχεδιασμού και ο μηχανισμός αστοχίας ενός ενισχυμένου πέλματος ενός υποστρώματος σε εγκάρσια κάμψη, μαζί με τους κοχλίες που παραλαμβάνουν τον εφελκυσμό, πρέπει να λαμβάνονται όμοια με αυτά ενός πέλματος ενός ισοδύναμου βραχέος T, βλ. § 6.2.4, για κάθε:
  - μεμονωμένη σειρά κοχλιών που απαιτούνται να παραλάβουν εφελκυσμό
  - ομάδα σειρών κοχλιών που απαιτούνται να παραλάβουν εφελκυσμό.
- (3) Οι ομάδες σειρών των κοχλιών στην κάθε πλευρά της ενίσχυσης ή του ενισχυτικού ελάσματος πρέπει να μοντελοποιηθούν ως ξεχωριστά πέγματα ισοδύναμων βραχέων T, βλ. Σχ. 6.9. Η αντοχή σχεδιασμού και ο μηχανισμός αστοχίας πρέπει να καθορίζονται ξεχωριστά για κάθε ισοδύναμο βραχύ T.



- 1 Ακραία σειρά κοχλιών προσκείμενη σε ενίσχυση  
 2 Ακραία σειρά κοχλιών  
 3 Εσωτερική σειρά κοχλιών  
 4 Σειρά κοχλιών προσκείμενη σε ενισχυτικό έλασμα

**Σχήμα 6.9: Μοντελοποίηση ενός ενισχυμένου πέλματος υποστυλώματος ως δύο ξεχωριστά βραχέα T**

- (4) Οι διαστάσεις  $e_{min}$  και  $m$  που χρησιμοποιούνται στην § 6.2.4, θα πρέπει να προσδιορίζονται σύμφωνα με το Σχ. 6.8.
- (5) Το ενεργό μήκος του ισοδύναμου πέλματος του βραχέος T, θα πρέπει να καθορίζεται σύμφωνα με την § 6.2.4.2, χρησιμοποιώντας τις τιμές για κάθε σειρά κοχλιών όπως δίνεται στον Πίν. 6.5. Η τιμή του  $\alpha$  στον Πίν. 6.5 θα πρέπει να λαμβάνεται από το Σχ. 6.11.
- (6) Οι ενισχύσεις θα πρέπει να πληρούν τις απαιτήσεις όπως εξηγούνται στην § 6.2.6.1.

**Πίνακας 6.5: Ενεργά μήκη ενισχυμένου πέλματος υποστρώματος**

Θέση σειράς κοχλιών	Σειρά κοχλιών θεωρούμενη ως μεμονωμένη		Σειρά κοχλιών θεωρούμενη ως μέλος ομάδας σειρών κοχλιών	
	Κυκλικές μορφές $l_{eff,cp}$	Μη κυκλικές μορφές $l_{eff,nc}$	Κυκλικές μορφές $l_{eff,cp}$	Μη κυκλικές μορφές $l_{eff,nc}$
Σειρά κοχλιών προσκείμενη σε ενισχυτικό έλασμα	$2\pi m$	$am$	$\pi m + p$	$0,5p + am - (2m + 0,625e)$
Άλλη εσωτερική σειρά κοχλιών	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Άλλη ακραία σειρά κοχλιών	Το μικρότερο από: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Το μικρότερο από: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	Το μικρότερο από: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	Το μικρότερο από: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Εσωτερική σειρά κοχλιών προσκείμενη σε ενισχυτικό έλασμα	Το μικρότερο από: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + am - (2m + 0,625e)$	Άσχετο	Άσχετο
Μηχανισμός 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ αλλά $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ αλλά $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
Μηχανισμός 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$	
Το α λαμβάνεται από το Σχήμα 6.11.				

#### 6.2.6.4.3 Μη ενισχυμένο πέλμα υποστρώματος, συγκολλημένη σύνδεση

- (1) Σε μία συγκολλημένη σύνδεση, η αντοχή σχεδιασμού  $F_{fc,Rd}$  ενός μη ενισχυμένου πέλματος υποστρώματος σε κάμψη, εξαιτίας του εφελκυσμού ή της θλίψης που προκαλείται από το πέλμα μίας δοκού, πρέπει να λαμβάνεται χρησιμοποιώντας την εξίσωση:

$$F_{fc,Rd} = (b_{eff,b,fc} * t_{fb} * f_{\gamma,fb}) / \gamma_{M0} \quad \dots (6.20)$$

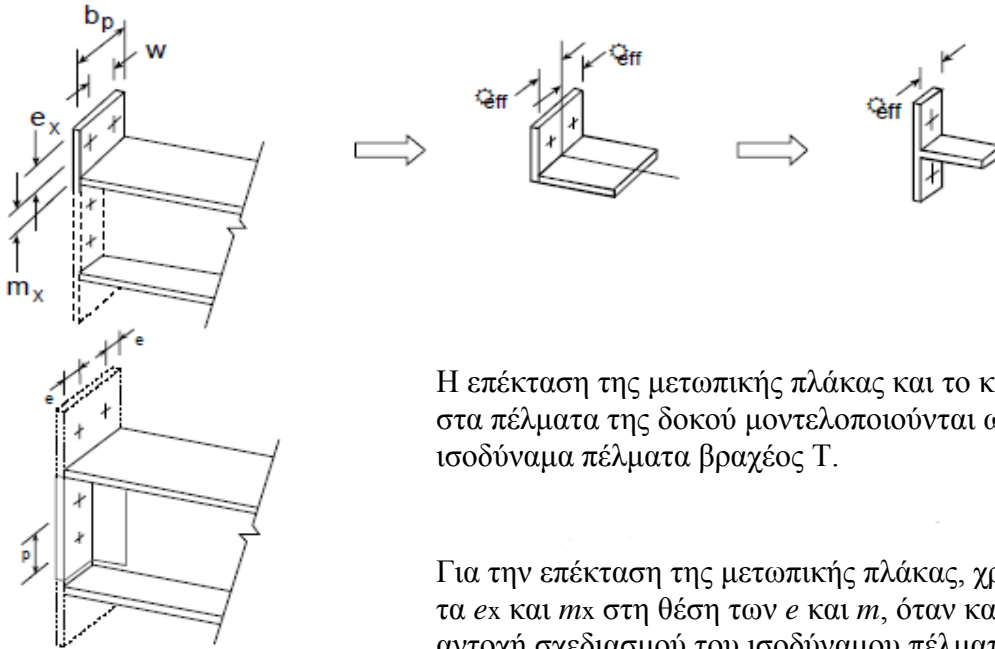
όπου:

$b_{eff,b,fc}$  είναι το ενεργό πλάτος  $b_{eff}$  όπως ορίζεται στην § 4.10 του Ευρωκώδικα, όπου το πέλμα της δοκού θεωρείται ως πλάκα.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Οι απαιτήσεις που ορίζονται στις § 4.10(4) και 4.10(6) πρέπει να ικανοποιούνται.

## 2.2.6 Ευρωκώδικας 3, Μέρος 1.8, Παράγραφος 6.2.6.5: Μετωπική πλάκα σε Κάμψη

- (1) Η αντοχή σχεδιασμού και ο μηχανισμός αστοχίας μίας μετωπικής πλάκας σε κάμψη, μαζί με τους κοχλίες που παραλαμβάνουν τον εφελκυσμό, πρέπει να λαμβάνονται όμοια με αυτά ενός πέλματος ενός ισοδύναμου βραχέος  $T$ , βλ. § 6.2.4, για κάθε:
  - μεμονωμένη σειρά κοχλιών που απαιτούνται να παραλάβουν εφελκυσμό
  - ομάδα σειρών κοχλιών που απαιτούνται να παραλάβουν εφελκυσμό.
- (2) Οι ομάδες σειρών κοχλιών σε οποιαδήποτε πλευρά μίας ενίσχυσης συνδεδεμένης με τη μετωπική πλάκα, πρέπει να αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστά ισοδύναμα βραχέα  $T$ . Σε εκτεταμένες μετωπικές πλάκες, η σειρά κοχλιών στο εκτεταμένο μέρος πρέπει επίσης να αντιμετωπίζεται ως ξεχωριστό ισοδύναμο βραχύ  $T$ , βλ. Σχ. 6.10. Η αντοχή σχεδιασμού και ο μηχανισμός αστοχίας πρέπει να καθορίζονται ξεχωριστά για κάθε ισοδύναμο βραχύ  $T$ .
- (3) Η διάσταση  $e_{min}$  που απαιτείται στην § 6.2.4 πρέπει να λαμβάνεται από το Σχ. 6.8 για το τμήμα της μετωπικής πλάκας που βρίσκεται ανάμεσα στα πέλματα της δοκού. Για την επέκταση της μετωπικής πλάκας, η διάσταση  $e_{min}$  πρέπει να λαμβάνεται ίση με  $e_x$ , βλ. Σχ. 6.10.
- (4) Το ενεργό μήκος ενός ισοδύναμου πέλματος βραχέος  $T$   $l_{eff}$  πρέπει να προσδιορίζεται σύμφωνα με την § 6.2.4.2 χρησιμοποιώντας τις τιμές για κάθε σειρά κοχλιών που δίνονται στον Πίν. 6.6.
- (5) Οι τιμές των  $m$  και  $m_x$  που χρησιμοποιούνται στον Πίν. 6.6 πρέπει να λαμβάνονται από το Σχ. 6.10.

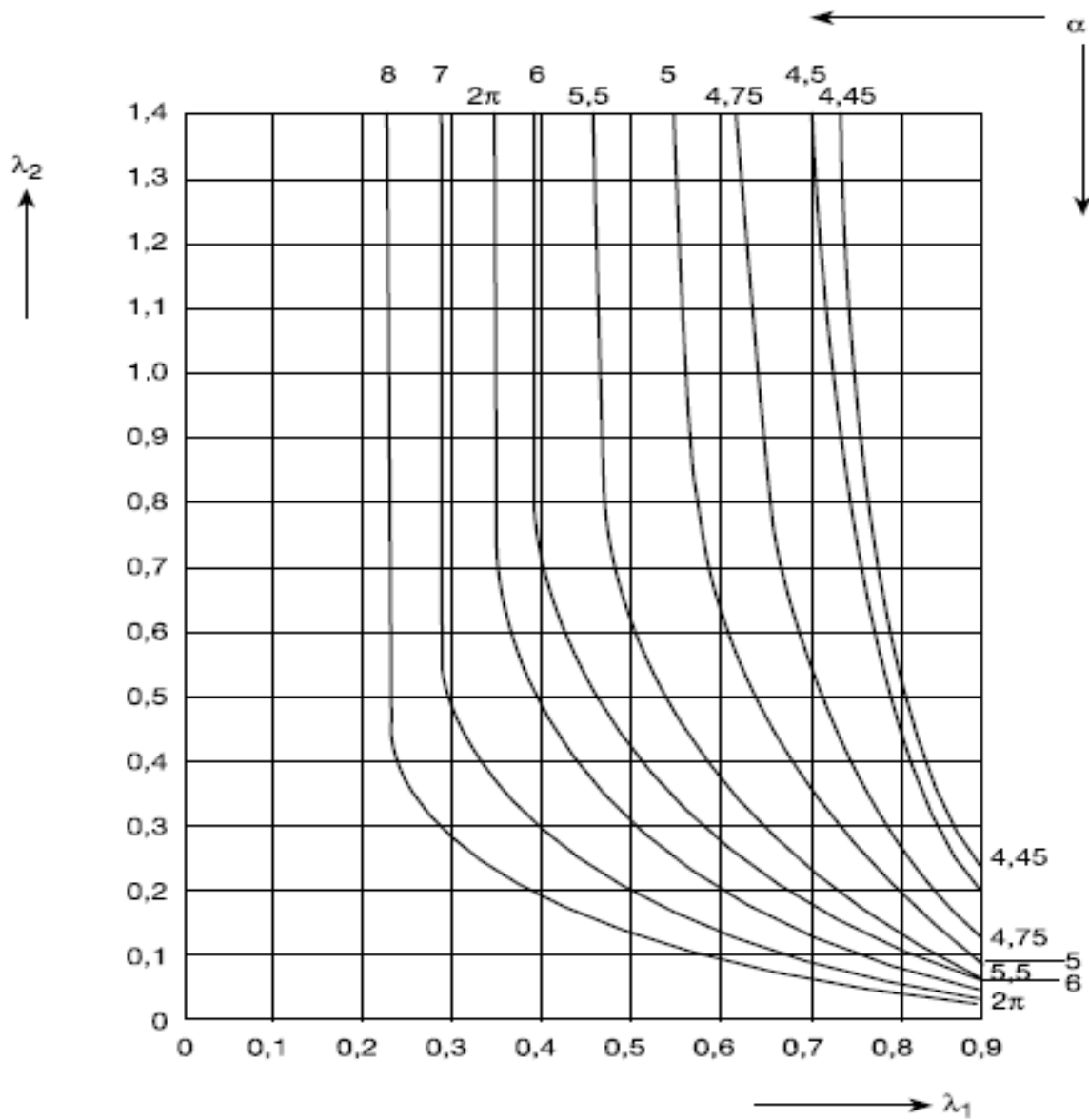


**Σχήμα 6.10: Μοντελοποίηση μίας εκτεταμένης μετωπικής πλάκας ως ξεχωριστά βραχέα T**

**Πίνακας 6.6: Ενεργά μήκη μετωπικής πλάκας**

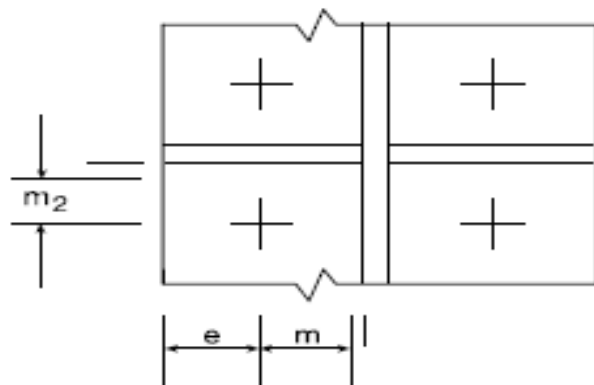
Θέση σειράς κοχλιών	Σειρά κοχλιών θεωρούμενη ως μεμονωμένη		Σειρά κοχλιών θεωρούμενη ως μέλος ομάδας σειρών κοχλιών	
	Κυκλικές μορφές $l_{eff,cp}$	Μη κυκλικές μορφές $l_{eff,nc}$	Κυκλικές μορφές $l_{eff,cp}$	Μη κυκλικές μορφές $l_{eff,nc}$
Σειρά κοχλιών εκτός εφελκυσμένου πέλματος δοκού	Το μικρότερο από: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	Το μικρότερο από: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	-	-
Πρώτη σειρά κοχλιών κάτω από το εφελκυσμένο πέλημα της δοκού	$2\pi m$	$am$	$\pi m + p$	$0,5p + am - (2m + 0,625e)$
Άλλη εσωτερική σειρά κοχλιών	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Άλλη ακραία σειρά κοχλιών	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
Μηχανισμός 1:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ αλλά $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\Sigma l_{eff,1} = \Sigma l_{eff,nc}$ αλλά $\Sigma l_{eff,1} \leq \Sigma l_{eff,cp}$	
Μηχανισμός 2:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\Sigma l_{eff,2} = \Sigma l_{eff,nc}$	

Το α λαμβάνεται από το Σχήμα 6.11.



$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}$$



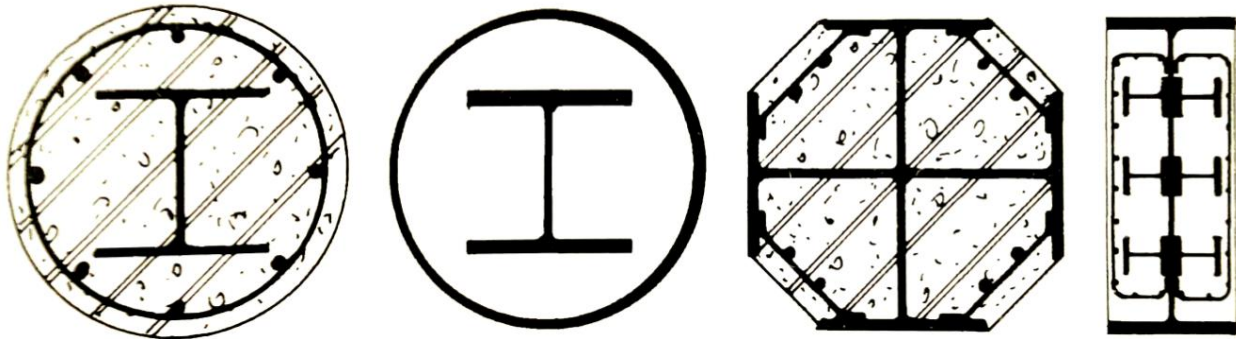
Σχήμα 6.11: Τιμές του  $\alpha$  για μετωπικές πλάκες και ενισχυμένα πέλματα υποστρώματος



## 2.3 Σύμμικτα Υποστυλώματα Κεφάλαιο 7ο

### 7.1 Γενικά

Τα σύμμικτα υποστυλώματα αποτελούνται από σιδηροδοκούς εγκιβωτισμένες στο σκυρόδεμα, είτε από χαλύβδινους σωλήνες ή κοιλοδοκούς γεμισμένες με σκυρόδεμα.



Σχήμα 7.1: Ενδεικτικές μορφές συμμίκτων υποστυλωμάτων

Στο σχήμα 7.1 απεικονίζονται μερικές ενδεικτικές μορφές συμμίκτων υποστυλωμάτων, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αποκλείονται και άλλες. Παράδειγμα διαφορετικής μορφολογίας αποτελούν οι πυλώνες στήριξης των στεγών του κλειστού Γυμναστηρίου και κλειστού Κολυμβητηρίου στις Ολυμπιακές εγκαταστάσεις της Καλογρέζας που αποτελούνται από τετράδυμα σύμμικτα υποστυλώματα συνδεδεμένα σε διάφορες στάθμες με δοκούς σύζευξης (Σχήμα 7.2). Κάθε ένα από τα τετράδυμα υποστυλώματα αποτελείται από κιβωτοειδή χαλύβδινη διατομή γεμισμένη με σκυρόδεμα και πλήρως εγκιβωτισμένη στο σκυρόδεμα.



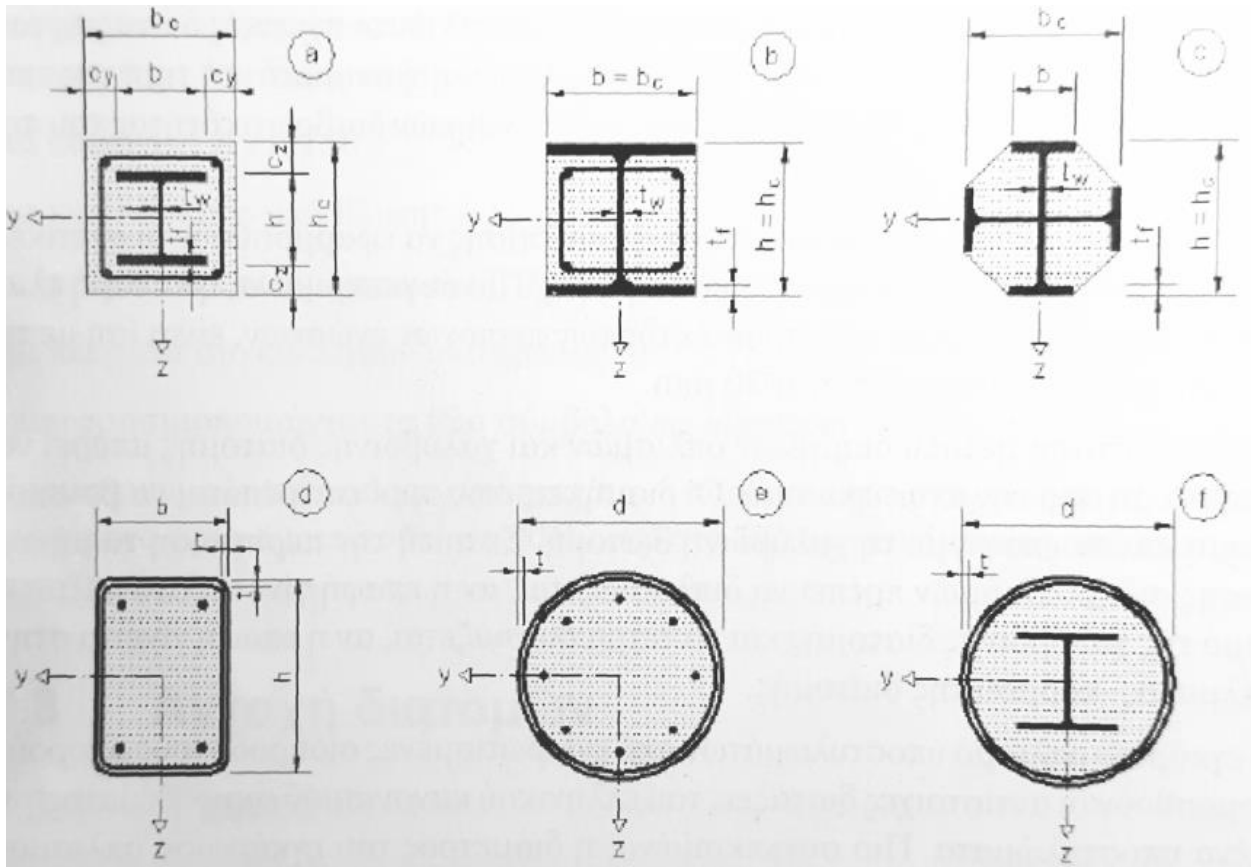
**Σχήμα 7.2: Πυλώνες στήριξης στεγών Γυμναστηρίου και Κολυμβητηρίου στο ΟΑΚΑ [102]**

Τα σύμμικτα υποστυλώματα έχουν ιδιαίτερα υψηλή αντοχή, δυσκαμψία και ολκιμότητα, πράγμα που τα καθιστά ιδανικά στοιχεία παραλαβής κατακόρυφων και οριζόντιων σεισμικών δυνάμεων. Σε ορισμένες χώρες με μεγάλο σεισμικό κίνδυνο, όπως η Ιαπωνία, τα σύμμικτα υποστυλώματα χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικώς ως κατακόρυφα φέροντα στοιχεία υψηλών κτιρίων. Το σκυρόδεμα εγκιβωτισμού εμποδίζει την ανάπτυξη τοπικού λυγισμού στον χάλυβα, η σιδηρή κοίλη διατομή (κοιλοδοκός ή σωλήνας) προσφέρει την απαιτούμενη, συνεχή περίσφιξη στο σκυρόδεμα, ο στρεπτοκαμπτικός λυγισμός εμποδίζεται ως μορφή αστοχίας. Στους λόγους αυτούς οφείλεται κυρίως η μεγάλη πλαστιμότητα των συμμίκτων υποστυλωμάτων. Το σκυρόδεμα αυξάνει επίσης θεαματικά την πυροπροστασία των υποστυλωμάτων, σε περίπτωση δε κοίλων διατομών γεμισμένων με σκυρόδεμα τοποθετούνται εσωτερικά της διατομής διαμήκεις οπλισμοί, ώστε στην περίπτωση πυρκαγιάς όπου η χαλύβδινη κοιλοδοκός θεωρείται ότι χάνει τελείως την αντοχή της, το υποστυλώμα συμπεριφέρεται ως υποστυλώμα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι διατάξεις σχεδιασμού συμμίκτων υποστυλωμάτων όπως προβλέπονται από τον Ευρωκώδικα 4 και περιγράφονται στο παρόν Κεφάλαιο, βασίζονται κυρίως σε εργασίες των Roik, Bode, Bergmann [8][10].

## 7.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

Για σιδηροδοκούς εγκιβωτισμένες στο σκυρόδεμα ισχύουν οι εξής γεωμετρικοί περιορισμοί:

- Ελάχιστη επικάλυψη σκυροδέματος  
 $\min c_y = 40 \text{ mm}$  (για γέφυρες 50 mm)  
 $\min c_z = \min \{40 \text{ mm}; b/6\}$



Σχήμα 7.3: Συμβολισμοί Ευρωκώδικα 4

Εάν η υπάρχουσα επικάλυψη είναι μεγαλύτερη από την ελάχιστη επικάλυψη, μπορεί να λαμβάνεται στους υπολογισμούς η μεγαλύτερη επικάλυψη όχι όμως μεγαλύτερες τιμές από:

$$\max c_y = 0,4b \text{ και}$$

$$\max c_z = 0,3h$$

Φυσικά η υπάρχουσα επικάλυψη μπορεί να ξεπερνά για λόγους συνθηκών περιβάλλοντος τις μέγιστες τιμές, δεν θα λαμβάνεται όμως πέραν αυτών στους υπολογισμούς.

- Ελάχιστο ποσοστό διαμήκους οπλισμού σε υποστυλώματα από εγκιβωτισμένες σιδηροδοκούς

$$\min \rho = A_s / A_c = 0,3\%,$$

ενώ δεν χρειάζεται συνήθως διαμήκης οπλισμός σε υποστυλώματα από γεμισμένες κοίλες διατομές, εκτός από τους προαναφερθέντες λόγους αύξησης της αντοχής στην περίπτωση πυρκαγιάς.

- Μέγιστο ποσοστό διαμήκους οπλισμού που επιτρέπεται να χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς αντοχής:

$$\max \rho = A_s / A_c = 6\%.$$

- Για τις ελάχιστες τιμές επικάλυψης μπορούν να εφαρμοσθούν οι σχετικές διατάξεις του ελληνικού κανονισμού σκυροδέματος. Πιο συγκεκριμένα, η ονομαστική τιμή της επικάλυψης είναι ίση 25 έως 50 mm αναλόγως των συνθηκών διαβρωτικότητας του περιβάλλοντος.
- Για τις αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών μπορούν επίσης να εφαρμοσθούν οι σχετικές διατάξεις του ελληνικού κανονισμού σκυροδέματος. Πιο συγκεκριμένα, η καθαρή ελάχιστη απόσταση παράλληλων οπλισμών εκτός των περιοχών ενώσεων, είναι ίση με τη μεγαλύτερη διάμετρο των ράβδων ή 20 mm.
- Η καθαρή απόσταση μεταξύ διαμήκων οπλισμών και χαλύβδινης διατομής μπορεί να είναι μικρότερη από την ανωτέρω τιμή. Οι διαμήκεις οπλισμοί επιτρέπεται να βρίσκονται ακόμα και σε επαφή με τη χαλύβδινη διατομή. Σε αυτή την περίπτωση το μήκος αγκύρωσης σιδηροπλισμών πρέπει να διπλασιάζεται, αν η επαφή γίνεται στο πέλμα ή τον κορμό της χαλύβδινης διατομής και να τετραπλασιάζεται, αν η επαφή γίνεται στην τομή πέλματος – κορμού της διατομής.
- Για τον εγκάρσιο οπλισμό υποστυλωμάτων από εγκιβωτισμένες σιδηροδοκούς μπορούν να εφαρμοσθούν οι αντίστοιχες διατάξεις του ελληνικού κανονισμού σκυροδέματος για οπλισμένα υποστυλώματα. Πιο συγκεκριμένα, η διάμετρος του εγκάρσιου οπλισμού δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 6 mm ή από το 1/4 της μέγιστης διαμέτρου των διαμήκων ράβδων ενώ η μεταξύ τους απόσταση δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από:

- 12 φορές την ελάχιστη διάμετρο των διαμήκων ράβδων,
  - τη μικρότερη πλευρά του υποστυλώματος,
  - 300 mm
- Προς αποφυγή τοπικού λυγισμού σε σύμμικτα υποστυλώματα ισχύουν οι εξής περιορισμοί «πλάτους» προς πάχος:
    - σωλήνες (Σχ. 7.3 e, f):  $d/t \leq 90 \cdot \varepsilon^2$
    - κοιλοδοκοί (Σχ. 7.3 d):  $h/t \leq 52 \cdot \varepsilon$
    - πέλματα μερικών εγκιβωτισμένων διατομών (Σχ. 7.3 b, c):  $b/t \leq 44 \cdot \varepsilon$
 όπου:
    - d = διάμετρος σωλήνα,
    - h = ύψος κοιλοδοκού,
    - b = πλάτος πέλματος,
    - t = πάχος στοιχείου,
    - το  $\varepsilon$  έχει την ίδια σημασία όπως στον Πίνακα 3.3.

Για τα πλήρως εγκιβωτισμένα πέλματα ή τους κορμούς διατομών I δεν ισχύουν περιορισμοί πλάτους προς πάχος, γιατί το σκυρόδεμα εμποδίζει τον τοπικό λυγισμό.

Η συμβολή του σκυροδέματος στην παρεμπόδιση του τοπικού λυγισμού φαίνεται, αν συγκρίνουμε τις τιμές «πλάτους» προς πάχος που δόθηκαν παραπάνω, με τα αντίστοιχα όρια χαλύβδινων διατομών κατηγορίας 1, χωρίς όμως εγκιβωτισμό σε σκυρόδεμα. Τα όρια σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3 είναι τα εξής:

- Για σωλήνες:  $d/t \leq 50 \cdot \varepsilon^2$
- Για κοιλοδοκούς υπό θλίψη:  $h/t \leq 42 \cdot \varepsilon$
- Για πέλματα ελατών διατομών I:  $b/t \leq 20 \cdot \varepsilon$
- Για πέλματα συγκολλητών διατομών I:  $b/t \leq 18 \cdot \varepsilon$

Όπου χρησιμοποιούνται τα ίδια σύμβολα ως ανωτέρω.

Παρατηρούμε λοιπόν ότι για σωλήνες π.χ. η παρουσία του σκυροδέματος ανεβάζει το επιτρεπόμενο όριο  $d/t$  από  $50\varepsilon^2$  σε  $90\varepsilon^2$ , καθιστά δηλαδή τη διατομή από κατηγορίας 3 σε κατηγορίας 1.

## 7.3 Αντοχή διατομών

### 7.3.1 Γενικά

Για τον έλεγχο διατομών υποστυλωμάτων ή και δοκών που υποβάλλονται σε θλίψη και κάμψη, βρίσκεται κατά τα γνωστά πρώτα η αντοχή της διατομής έναντι καθενός εντατικού μεγέθους ξεχωριστά και ακολουθεί ο έλεγχος μέσω κατάλληλων εξισώσεων ή διαγράμματος αλληλεπίδρασης. Σε αυτή τη βάση θα δοθούν πρώτα οι σχέσεις αντοχής έναντι αξονικών δυνάμεων και ροπών ξεχωριστά και θα ακολουθήσουν οι σχέσεις αλληλεπίδρασης.

### 7.3.2 Αντοχή έναντι θλίψης

Η αντοχή έναντι θλιπτικής δύναμης είναι ίση με την πλαστική αξονική δύναμη σχεδιασμού της διατομής. Αυτή προκύπτει σύμφωνα με την § 3.3, με άθροιση των επιμέρους πλαστικών αξονικών δυνάμεων σχεδιασμού της σιδηροδοκού, του οπλισμού και του σκυροδέματος σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$N_{pl,Rd} = N_{pa,Rd} + N_{ps,Rd} + N_{pc,Rd} = A_a * f_{yd} + A_s * f_{sd} + 0,85 * A_c * f_{cd} \quad (7.1)$$

ή για κοίλες διατομές γεμισμένες με σκυρόδεμα

$$N_{pl,Rd} = N_{pa,Rd} + N_{ps,Rd} + N_{pc,Rd} = A_a * f_{yd} + A_s * f_{sd} + A_c * f_{cd} \quad (7.2)$$

Στην ειδική περίπτωση υποστυλωμάτων από σωληνωτή διατομή γεμισμένη με σκυρόδεμα (Σχ. 7.3 e, f), για τα οποία είναι:

λυγηρότητα βλ. εξίσωση (7.38):  $\lambda \leq 0,5$  (7.3)

εκκεντρότητα:  $e = M_{Ed} / N_{Ed} \leq 0,1d$  (7.4)

μπορεί να αυξηθεί λόγω της τριαξονικότητας, συνέπεια περίσφιξης, η συμβολή του σκυροδέματος, με ταυτόχρονη μείωση της συμβολής του δομικού χάλυβα, σύμφωνα με τη σχέση:

$$N_{pl,Rd} = \eta_a * A_a * f_{yd} + [1 + \eta_c * (t/d) * (f_{yd}/f_{ck})] * A_c * f_{cd} + A_s * f_{sd} \quad (7.5)$$

όπου για εκκεντρότητα  $e = 0$  είναι:

μειωτικός συντελεστής τάσης χάλυβα

$$\eta_a = \eta_{a0} = 0,25 * (3 + 2\lambda) \leq 1,0, \quad (7.6)$$

μεγεθυντικός συντελεστής τάσης σκυροδέματος

$$\eta_c = \eta_{c0} = 4,9 - 18,5 * \lambda + 17 * \lambda^2 \geq 0 \quad (7.7)$$

Για εκκεντρότητα  $e > 0$  οι συντελεστές  $\eta_\alpha$  και  $\eta_c$  υπολογίζονται συναρτήσει των τιμών  $\eta_{10}$  και  $\eta_{20}$  των εξισώσεων (7.6) και (7.7) από τις σχέσεις:

$$\eta_c = \eta_{c0} * (1 - 10e/d) \quad (7.8)$$

$$\eta_\alpha = \eta_{\alpha 0} + (1 - \eta_{c0}) * (10e/d) \quad (7.9)$$

Για εκκεντρότητα  $e > 0,10d$  είναι  $\eta_\alpha = 1$  και  $\eta_c = 0$ .

Είναι προφανές ότι η αντοχή έναντι εφελκυστικών αξονικών δυνάμεων δίνεται από την εξίσωση (7.4) αγνοώντας τον τελευταίο όρο που αναφέρεται στο σκυρόδεμα.

Σημειώνεται ότι ένα υποστύλωμα θεωρείται σύμμικτο εάν ικανοποιεί την ανίσωση (7.35).

### 7.3.3 Αντοχή έναντι καμπτικής ροπής

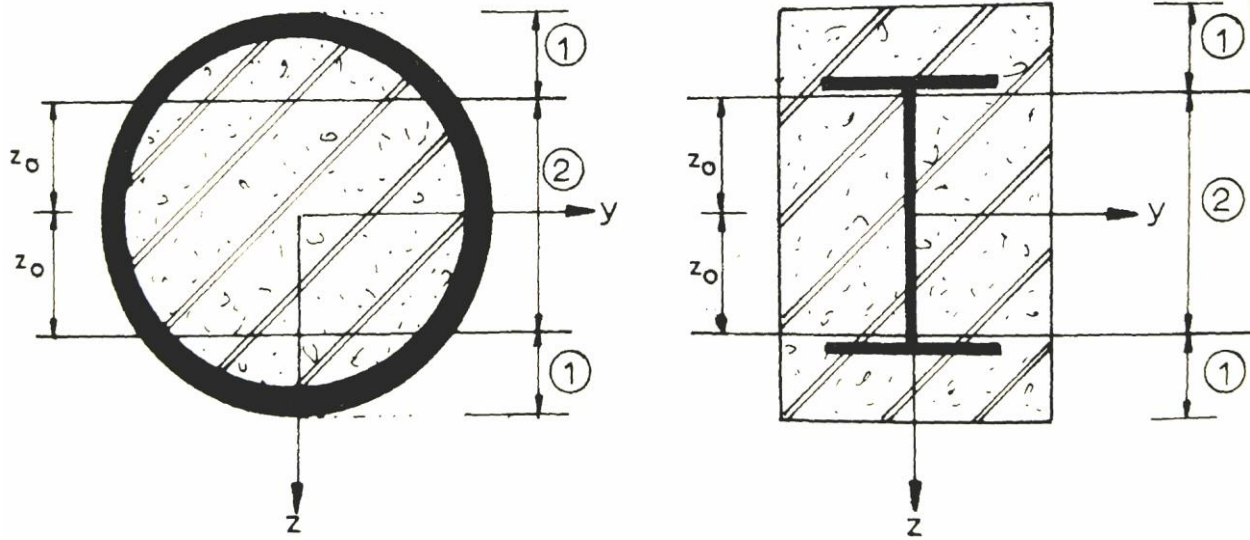
Ο προσδιορισμός της πλαστικής ροπής κάμψης μπορεί να γίνει με την ακριβή μέθοδο των λωρίδων όπως αναπτύχθηκε στην Παράγραφο 4.1. Στη συνέχεια όμως δίνονται για ορισμένες διατομές διπλής συμμετρίας, σχέσεις προσδιορισμού της πλαστικής ροπής σύμφωνα με μία προσεγγιστική μέθοδο υπολογισμού, που προτείνεται από τον Ευρωκώδικα 4. Η πλαστική ροπή αντοχής  $M_{pl,Rd}$  δεν είναι η μέγιστη ροπή που μπορεί να αναπτύξει η διατομή, κατ' αναλογία με τη συμπεριφορά διατομών από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπου ως γνωστόν η μέγιστη ροπή  $M_{max,Rd}$  αναπτύσσεται εάν συνυπάρχει και θλιπτική αξονική δύναμη. Αυτό συμβαίνει επειδή λόγω της αξονικής θλίψης ενεργοποιείται περισσότερο ποσοστό σκυροδέματος, το οποίο σε αντίθετη περίπτωση θα ήταν στην εφελκυστική ζώνη και θα παρέμενε ανενεργό. Η πλαστική ροπή αντοχής δίνεται σύμφωνα με την προσεγγιστική μέθοδο του EC4 από τη σχέση:

$$M_{pl,Rd} = M_{max,Rd} - M_{n,Rd} \quad (7.10)$$

όπου:

$M_{n,Rd}$  = πλαστική ροπή μέρους της διατομής εντός της κεντρικής ζώνης εκατέρωθεν του κέντρου βάρους (ζώνη (2) στο Σχ. 7.6). Το συνολικό ύψος της ζώνης αυτής είναι  $2z_0$ , όπου:

$z_0$  = απόσταση ουδέτερου άξονα από το κέντρο βάρους της διατομής για καθαρή κάμψη.



Σχήμα 7.6: Χαρακτηριστικές ζώνες σύμμικτης διατομής

Οι χαρακτηριστικές ροπές της εξίσωσης (7.10) δίνονται από τις σχέσεις

$$M_{\max,Rd} = M_{pl,\alpha} + M_{pl,s} + \frac{1}{2} * M_{pl,c} \quad (7.11)$$

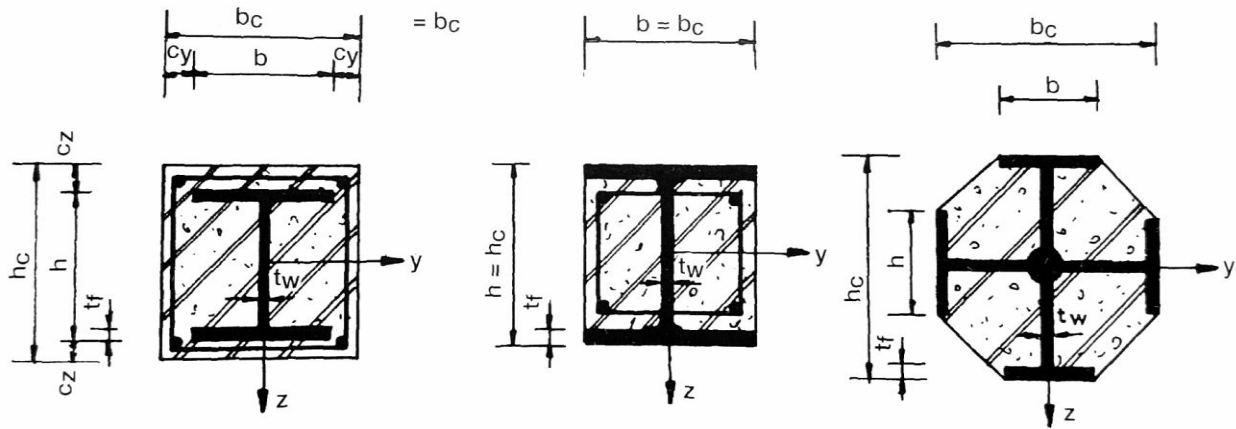
$$M_{n,Rd} = M_{pl,\alpha n} + \frac{1}{2} * M_{pl,cn} \quad (7.12)$$

όπου στην εξίσωση (7.11) αθροίζονται οι πλαστικές ροπές του δομικού χάλυβα, του σπλισμού και η μισή του σκυροδέματος όλης της διατομής, ενώ στην εξίσωση (7.12) αθροίζονται οι αντίστοιχες πλαστικές ροπές του τμήματος της διατομής εντός της ζώνης (2) του Σχήματος 7.6, που υποδηλώνονται με το δείκτη  $n$ .

Η απόσταση  $z_0$  ορισμένων χαρακτηριστικών διατομών για προσδιορισμό της ζώνης (2) δίνονται παρακάτω.



## Κάμψη ως προς τον ισχυρό άξονα εγκιβωτισμένων διατομών I



Σχήμα 7.7: Σύμβολα για εγκιβωτισμένες διατομές I

Η απόσταση  $z_0$  δίνεται από μία των εξισώσεων (7.13) έως (7.15).

- a) Ουδέτερος άξονας πάνω από τη διατομή I:  $h/2 \leq z_0 \leq h_c/2$

$$z_0 = \frac{(N_{pc,Rd} - A_{sn} * (2 * f_{sd} - 0,85 * f_{cd}) - A_a * (2 * f_{yd} - 0,85 * f_{cd}))}{(2 * b_c * 0,85 * f_{cd})} \quad (7.13)$$

- b) Ουδέτερος άξονας στο πέλμα της διατομής I:  $h/2 - t_f < z_0 < h/2$

$$z_0 = \frac{(N_{pc,Rd} - A_{sn} * (2 * f_{sd} - 0,85 * f_{cd}) - (b - t_w) * (h - 2t_f) * (2 * f_{yd} - 0,85 * f_{cd}))}{(2 * b_c * 0,85 * f_{cd} + 2b * (2 * f_{yd} - 0,85 * f_{cd}))} \quad (7.14)$$

- c) Ουδέτερος άξονας στον κορμό της διατομής I:  $z_0 < h/2 - t_f$

$$z_0 = \frac{(N_{pc,Rd} - A_{sn} * (2 * f_{sd} - 0,85 * f_{cd}))}{(2 * b_c * 0,85 * f_{cd} + 2t_w * (2 * f_{yd} - 0,85 * f_{cd}))} \quad (7.15)$$

## Κάμψη ως προς τον ασθενή άξονα εγκιβωτισμένων διατομών I

Η απόσταση  $z_0$  δίνεται από μία των εξισώσεων (7.16) έως (7.18).

- a) Ουδέτερος άξονας έξω από τη διατομή I:  $b/2 \leq z_0 \leq b_c/2$

$$z_0 = \frac{(N_{pc,Rd} - A_{sn} * (2 * f_{sd} - 0,85 * f_{cd}) - A_a * (2 * f_{yd} - 0,85 * f_{cd}))}{(2 * h_c * 0,85 * f_{cd})} \quad (7.16)$$

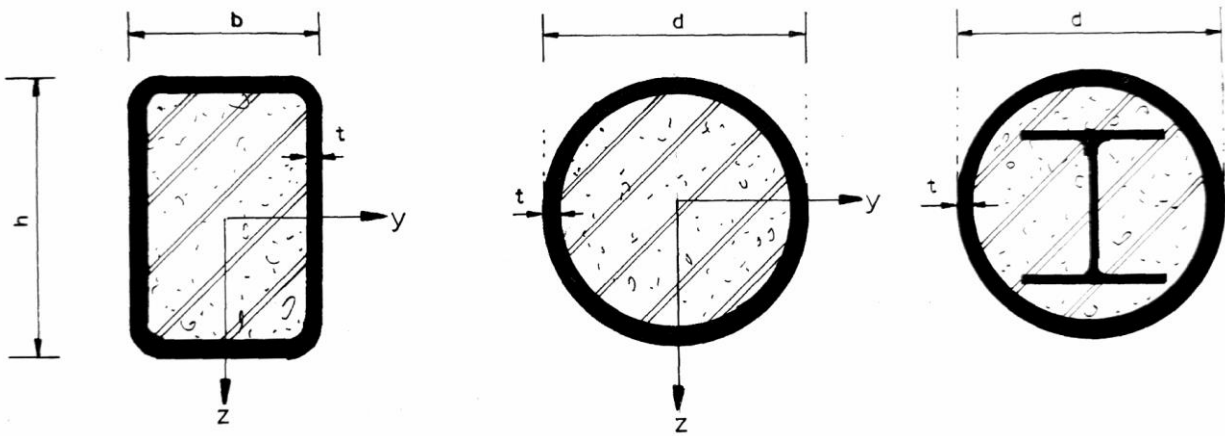
b) Ουδέτερος άξονας στα πέλατα:  $t_w / 2 < z_0 < b/2$

$$z_0 = \frac{(N_{pc,Rd} - A_{sn} * (2 * f_{sd} - 0,85 * f_{cd})) + t_w * (2t_f - h) * (2f_{yd} - 0,85f_{cd})}{(2 * h_c * 0,85 * f_{cd} + 4t_f * (2 * f_{yd} - 0,85 * f_{cd}))} \quad (7.17)$$

c) Ουδέτερος άξονας στον κορμό:  $z_0 < t_w / 2$

$$z_0 = \frac{(N_{pc,Rd} - A_{sn} * (2 * f_{sd} - 0,85 * f_{cd}))}{(2 * h_c * 0,85 * f_{cd} + 2h * (2 * f_{yd} - 0,85 * f_{cd}))} \quad (7.18)$$

### Κοιλοδοκοί ή σωλήνες γεμισμένοι με σκυρόδεμα



Σχήμα 7.8: Κοίλες διατομές γεμισμένες με σκυρόδεμα

Για κάμψη κοιλοδοκών  $b * h$  περί τον άξονα  $y$  ισχύουν

$$z_0 = \frac{(N_{pc,Rd} - A_{sn} * (2 * f_{sd} - 0,85 * f_{cd}))}{(2 * b_c * 0,85 * f_{cd} + 4t * (2 * f_{yd} - 0,85 * f_{cd}))} \quad (7.19)$$

$$W_{pl,c} = (b - 2t) * (h - 2t)^2 / 4 - 2/3 r^3 - r^2 * (4 - \pi) * (h/2 - t - r) - W_{ps} \quad (7.20)$$

$$W_{pl,\alpha} = b * h^2 / 4 - 2/3 (r + t)^3 - (r + t)^2 * (4 - \pi) * (h/2 - t - r) - W_{ps} - W_{pc} \quad (7.21)$$

Για κάμψη ως προς τον άξονα  $z$  γίνεται αμοιβαία ανταλλαγή των συμβόλων  $b$  και  $h$ .

Για σωλήνες διαμέτρου  $d$  μπορεί να τεθεί στην εξίσωση (7.19)

$$b = h = d \quad r = d/2 - t \quad (7.22)$$

ή να χρησιμοποιηθούν απευθείας οι σχέσεις των πλαστικών ροπών αντίστασης

$$W_{pl} = (d - t)^2 * t \quad (7.23)$$

και

$$W_{pl} = 1,333 * (d/2)^3 \quad (7.24)$$

Για σωλήνες εξωτερικής διαμέτρου  $d$ , πάχους  $t$ , και πλήρεις κυκλικές διατομές διαμέτρου  $d$  αντιστοίχως.

Υπενθυμίζεται ότι η πλαστική ροπή μίας διατομής βρίσκεται από τη σχέση:

$$M_{pl} = W_{pl} * f_d$$

όπου:

$W_{pl}$  = πλαστική ροπή αντίστασης και

$f_d$  = οριακή τάση

Η πλαστική ροπή αντίστασης ορθογωνικής διατομής  $b * h$  είναι ίση με:

$$W_{pl} = b * h^2 / 4 \quad \text{ή} \quad W_{pl} = h * b^2 / 4$$

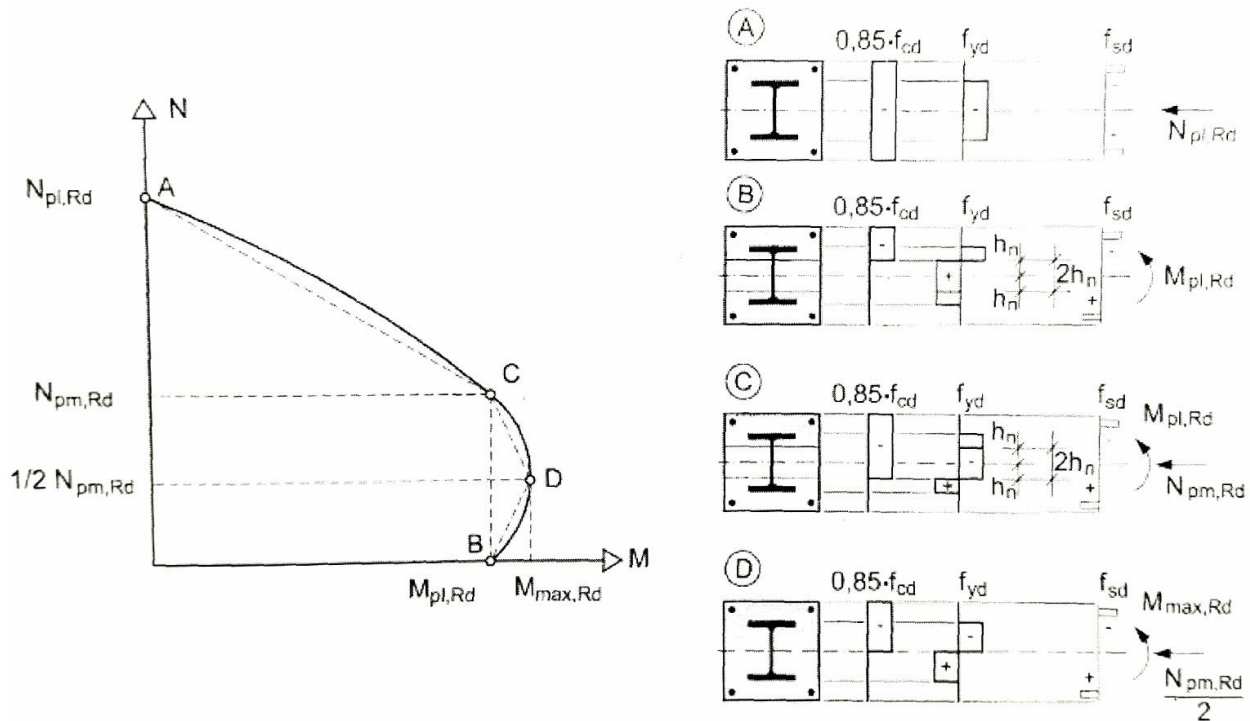
για άξονες κάμψης διερχόμενους από το κέντρο βάρους της διατομής και παράλληλους στις πλευρές  $b$  και  $h$  αντιστοίχως. Η πλαστική ροπή αντίστασης μίας επιφάνειας εμβαδού  $A$  (π.χ. οπλισμού, πέλματος σιδηροδοκού) ως προς άξονα που απέχει απόσταση  $e$  απ' αυτήν είναι ίση με  $W_{pl} = A * e$ . Τέλος αξ σημειωθεί ότι η πλαστική ροπή αντίστασης μίας επιφάνειας  $b * h$  που εσωκλείει μέσα της διάφορα κενά  $I$ , μπορεί να προσδιορισθεί από τη σχέση

$$W_{pl} = b * h^2 / 4 - \sum W_{pi} \quad (7.25)$$

όπου  $\sum W_{pi}$  = άθροισμα πλαστικών ροπών αντίστασης επιμέρους των κενών  $i$ .

### 7.3.4 Αντοχή έναντι συνδυασμού αξονικής δύναμης και μονοαξονικής κάμψης

Η αντοχή της διατομής του υποστυλώματος προσδιορίζεται με τη βοήθεια κατάλληλων διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης της μορφής του Σχήματος 7.9.



**Σχήμα 7.9: Διάγραμμα αλληλεπίδρασης θλιπτικών αξονικών – ροπών**

Παρατηρείται ότι το διάγραμμα αλληλεπίδρασης έχει καμπύλη μορφή. Στη θέση όμως του ακριβούς καμπύλου διαγράμματος μπορεί προσεγγιστικά να χρησιμοποιηθεί ένα πολυγωνικό διάγραμμα ACDB όπως φαίνεται στο Σχ. 7.9. Στα σημεία A και D αντιστοιχούν ζεύγη (N,M) ως ακολούθως:

$$\text{Σημείο A: } N_A = N_{pl,Rd} \quad M_A = 0$$

$$\text{Σημείο B: } N_B = 0 \quad M_B = M_{pl,Rd}$$

$$\text{Σημείο C: } N_C = N_{pc,Rd} \quad M_C = M_{pl,Rd}$$

$$\text{Σημείο D: } N_D = 1/2 \cdot N_{pc,Rd} \quad M_D = M_{max,Rd}$$

Για μεγαλύτερη οικονομία μπορεί να προσδιορισθεί ένα ακόμα σημείο E μεταξύ των A και C. αυτό γίνεται θεωρώντας μία ενδιάμεση θέση του ουδέτερου άξονα στην ζώνη (2) της διατομής (Σχ.7.6) και υπολογίζοντας την αξονική δύναμη και την καμπτική ροπή. Ο προσδιορισμός των εντατικών μεγεθών αντοχής δίνεται παρακάτω για ορισμένες περιπτώσεις που το διάγραμμα αλληλεπίδρασης μεταξύ των σημείων A και C είναι αρκετά καμπύλο ώστε να αξίζει τον κόπο η εύρεση του σημείου E.

### Σημείο E για κάμψη ως προς τον ασθενή άξονα εγκιβωτισμένων διατομών I (Σχ. 7.7)

Εάν ο ουδέτερος άξονας είναι στα πέλατα της σιδηροδοκού, δηλαδή

$$t_w / 2 < z_0 < b / 2$$

τότε μπορεί να εκλεγεί μία ενδιάμεση απόσταση  $z_E$  για την οποία επίσης θα ισχύει:

$$t_w / 2 < z_E < b / 2$$

Η αξονική δύναμη βρίσκεται με την χρήση της εξίσωσης (7.18) από τη σχέση:

$$N_{E,Rd} = h_c * (z_E - z_0) * f_{cd} + 2 * t_f * (z_E - z_0) * (2f_{ad} - f_{cd}) + A_{sE} * (2f_{sd} - f_{cd}) + N_{pc,Rd} \quad (7.26)$$

όπου  $A_{sE}$  είναι το εμβαδόν του οπλισμού στην επιπροσθέτως θλιβόμενη ζώνη μεταξύ  $z_E$  και  $z_0$ .

Η καμπτική ροπή αντοχής  $M_{E,Rd}$  προσδιορίζεται από την εξίσωση (7.10), όπου η ζώνη (2) για τον προσδιορισμό της  $M_{n,Rd}$  από την εξίσωση (7.11) εκτείνεται σε ύψος  $2z_E$ .

### Σημείο E για κοιλοδοκούς ή σωλήνες γεμισμένους με σκυρόδεμα (Σχ. 7.8)

Κατ' αναλογία προσδιορίζεται η θλιπτική δύναμη από τη σχέση

$$N_{E,Rd} = b * (z_E - z_0) * f_{cd} + 2 * t_f * (z_E - z_0) * (2f_{ad} - f_{cd}) + A_{sE} * (2f_{sd} - f_{cd}) + N_{pc,Rd} \quad (7.27)$$

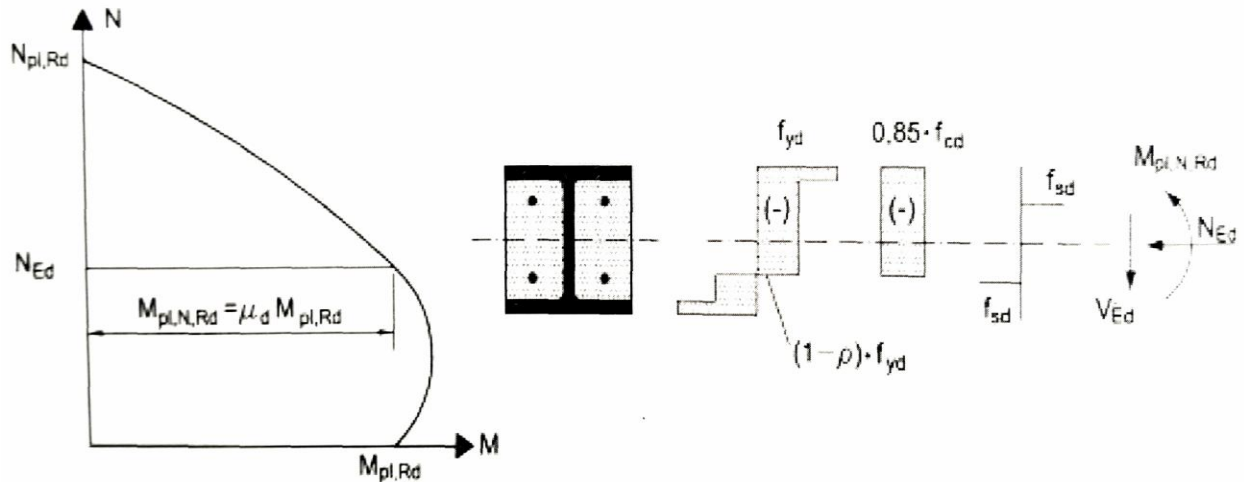
καθώς και η ροπή  $M_{E,Rd}$  από την εξίσωση (7.10).

Από το διάγραμμα αλληλεπίδρασης προσδιορίζεται για δεδομένη αξονική δύναμη  $N_{Ed}$  ο συντελεστής  $\mu_d$  σύμφωνα με το Σχ. 7.10. Σημειώνεται ότι αν συνυπάρχει σημαντική τέμνουσα, η αντοχή του κορμού της σιδηροδοκού μειώνεται με το συντελεστή  $(1 - \rho)$  σύμφωνα με την § 7.3.6. Ο έλεγχος σε θλίψη και κάμψη γράφεται:

$$M_{Ed} / M_{pl,N,Rd} = M_{Ed} / (\mu_d * M_{pl,Rd}) \leq \alpha_M \quad (7.28)$$

όπου:

$\alpha_M = 0,9$  για χάλυβα S235 έως S355 και  $0,8$  για χάλυβα S420 και S460.



Σχήμα 7.10: Προσδιορισμός του  $\mu_d$  στο διάγραμμα αλληλεπίδρασης

### 7.3.5 Αντοχή έναντι αξονικής δύναμης και διαξονικής κάμψης

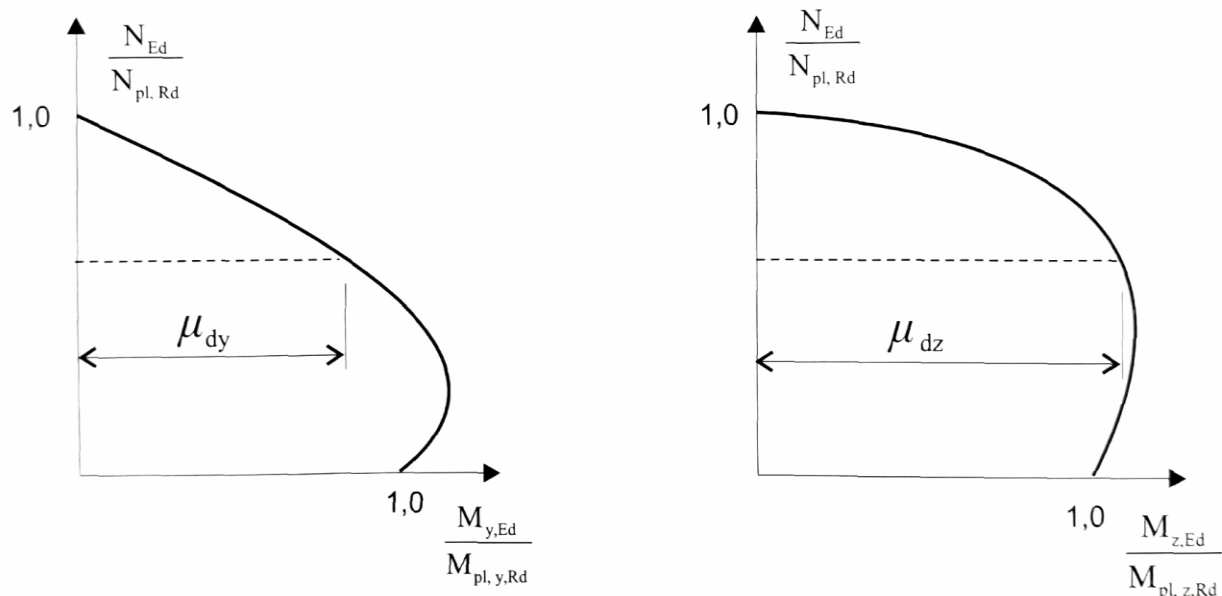
Η διαδικασία ελέγχου αντοχής μίας διατομής που υποβάλλεται σε αξονική δύναμη και διαξονική κάμψη είναι η εξής. Κατ' αρχήν προσδιορίζονται ξεχωριστά τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης (N,M) της διατομής για κάθε άξονα κάμψης ξεχωριστά, σύμφωνα με όσα αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Η αξονική δύναμη είναι ίδια και ίση με  $N_{Ed}$  και για τους δύο άξονες κάμψης. Για κάθε άξονα κάμψης πρέπει να ικανοποιούνται οι σχέσεις:

$$\frac{(M_{y,Ed})}{(\mu_{dy} * M_{pl,y,Rd})} \leq \alpha_{My} \quad (7.29)$$

$$\frac{(M_{z,Ed})}{(\mu_{dz} * M_{pl,z,Rd})} \leq \alpha_{Mz} \quad (7.30)$$

Πέραν αυτού πρέπει να ικανοποιείται η σχέση αλληλεπίδρασης:

$$\frac{(M_{y,Ed})}{(\mu_{dy} * M_{pl,y,Rd})} + \frac{(M_{z,Ed})}{(\mu_{dz} * M_{pl,z,Rd})} \leq 1 \quad (7.31)$$



**Σχήμα 7.14: Έλεγχος διατομής σε αξονική δύναμη και διαξονική κάμψη**

### 7.3.6 Επιρροή τεμνουσών

Η τέμνουσα δύναμη παραλαμβάνεται βασικώς από τη διατομή της σιδηροδοκού. Καθοριστική εδώ είναι η επιφάνεια του κορμού για την εκάστοτε διεύθυνση της τέμνουσας δύναμης. Είναι δυνατόν όμως η δρώσα τέμνουσα να μοιραστεί μεταξύ της διατομής της σιδηροδοκού και του σκυροδέματος με βάση τις σχέσεις:

$$V_{a,Ed} = V_{Ed} * \frac{(M_{pl,a,Rd})}{(M_{pl,Rd})} \quad (7.32)$$

$$V_{c,Ed} = V_{Ed} - V_{a,Ed} \quad (7.33)$$

Η αντοχή σε τέμνουσα  $V_{pl,a,Rd}$  δίνεται από τις σχέσεις της Παραγράφου 4.3. Η αλληλεπίδραση τέμνουσας και αξονικής ή ροπής εξετάζεται αν είναι  $V_{a,Ed} > 0,5 * V_{pl,a,Rd}$  (Πίνακας 4.2). Στην περίπτωση αυτή η αντοχή του εμβαδού της διατομής  $A_v$  που παραλαμβάνει την τέμνουσα μειώνεται σε  $(1 - \rho) * f_{yd}$  όπως φαίνεται στο Σχ. 4.14. Σπάνια όμως η τιμή της τέμνουσας σε υποστυλώματα είναι τόσο υψηλή ώστε να απαιτείται αυτή η μείωση. Κάτι τέτοιο συμβαίνει μόνο σε υποστυλώματα με πολύ μικρό μήκος.

## 7.4 Ευστάθεια

### 7.4.1 Γεωμετρικά και αδρανειακά χαρακτηριστικά

- Κατά τη στατική ανάλυση, η δυσκαμψία συμμίκτων υποστυλωμάτων λαμβάνεται ίση με:

$$(EI)_{\text{eff,II}} = K_0^*(E_a I_a + E_s I_s + K_{e,II} E_{cm} I_c) \quad (7.34)$$

όπου

$I_a, I_c, I_s$  οι ροπές αδρανείας της σιδηροδοκού, του αρηγμάτωτου σκυροδέματος και του οπλισμού

$E_{cm}$  η μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος με τη διόρθωση της εξίσωσης (7.40)

$K_0 = 0,9$  και  $K_{e,II} = 0,5$ .

- Το υποστύλωμα θεωρείται και υπολογίζεται ως σύμμικτο, εάν για το λόγο της πλαστικής αξονικής αντοχής της σιδηροδοκού προς την πλαστική αξονική αντοχή όλης της διατομής ισχύει:

$$0,2 \leq d = \frac{(A_a^* f_{yd})}{(N_{pl,Rd})} \leq 0,9 \quad (7.35)$$

Εάν  $\delta < 0,2$  τότε το υποστύλωμα θεωρείται ότι αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα και υπολογίζεται σύμφωνα με τον ισχύοντα Κανονισμό Κατασκευών από σκυρόδεμα.

Εάν  $\delta > 0,9$  τότε το υποστύλωμα θεωρείται ότι αποτελείται από δομικό χάλυβα και υπολογίζεται σύμφωνα με τον ισχύοντα Κανονισμό Σιδηρών Κατασκευών.

- Το κρίσιμο φορτίο του υποστυλώματος δίνεται από τη σχέση

όπου

$$(EI)_{\text{eff}} = (E_a I_a + E_s I_s + K_e E_{cm} I_c) \quad (7.37)$$

$E_{cm}$  η μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος με τη διόρθωση της εξίσωσης (7.40)

$K_e = 0,6$  και

$l$  = το μήκος του υποστυλώματος ίσο με το ύψος του ορόφου

Η ανηγμένη λυγηρότητα του υποστυλώματος για το υπόψη επίπεδο κάμψης προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\lambda = \sqrt{N_{pl,Rk} / N_{cr}} \quad (7.38)$$



όπου

$$N_{pl,Rk} = A_a f_{yk} + A_s f_{sk} + 0,85 * A_e f_{ck} \quad (7.39)$$

- Η επιρροή του ερπυσμού και της συστολής ξήρανσης λαμβάνονται υπόψη μειώνοντας στην εξίσωση (7.34) το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος από  $E_{cm}$  σε:

$$E_{c,eff} = E_{cm} * \frac{1}{1 + (N_{G,Ed} / N_{Ed}) * \varphi_t} \quad (7.40)$$

όπου

$N_{G,Ed}$  = αξονική δύναμη λόγω οιονεί μονίμων δράσεων

$N_{Ed}$  = σύνολο αξονικής δύναμης υποστυλώματος

$\varphi_t$  = συντελεστής ερπυσμού

## 3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

### 3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η ανάλυση του προγράμματος ή αλλιώς του υπολογιστικού αυτού μοντέλου, το οποίο βασίζεται τόσο στο πρόγραμμα Microsoft Excel, όσο και στην γλώσσα προγραμματισμού που “τρέχει πίσω από αυτό”. Η γλώσσα προγραμματισμού στην οποία είναι διατυπωμένες οι περαιτέρω εντολές και λειτουργίες είναι η VBA-Excel “*Visual Basic for Applications*”.

### 3.2 Ανάλυση

#### 3.2.1 Δεδομένα

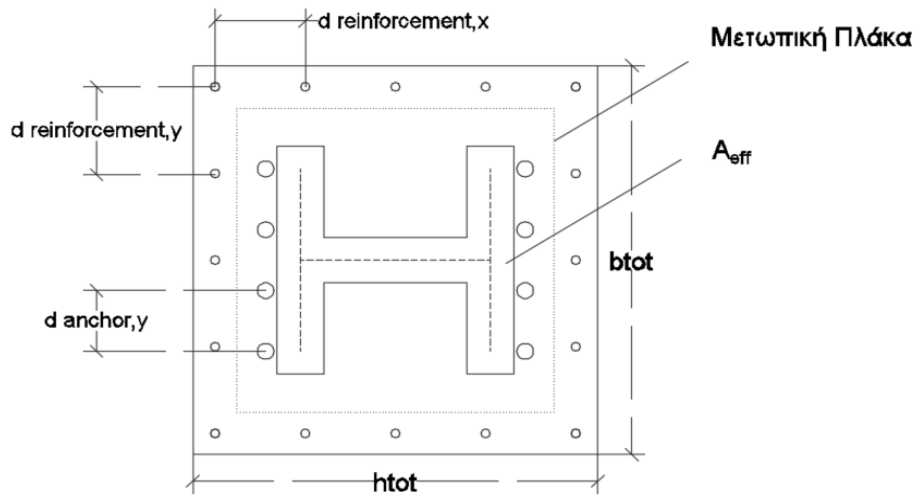
Αρχικά, έχουμε τον Πίνακα 3.1 (ΠΙΝΑΚΑΣ 1 - Συγκεντρωτικός Πίνακας Δεδομένων), τον οποίο καλείται ο χρήστης να συμπληρώσει εξ ολοκλήρου, έτσι ώστε το πρόγραμμα να λειτουργήσει και να επιστρέψει τα επιθυμητά και σωστά αποτελέσματα. Όπως τονίζεται και στο *Excel* τα κελιά με το κίτρινο φόντο είναι αυτά τα οποία ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί και να τους δώσει τα δικά του δεδομένα, διαστάσεις, αντοχές σχεδιασμού κτλ. Σε καμία περίπτωση δεν προτείνεται η αλλαγή σε κάποιο άλλο κελί καθώς αυτό θα συντελέσει στη μη άρτια λειτουργία του προγράμματος αλλά και ενδεχομένως σε λανθασμένα αποτελέσματα. Τα δεδομένα που παρατίθενται στον Πίν. 3.1 είναι δεδομένα μίας περίπτωσης με την οποία έγινε η μελέτη του προγράμματος.

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στις μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιούνται, με σκοπό την αποφυγή της απόδοσης μη έγκυρων αποτελεσμάτων.

**Πίνακας 3.1: ΠΙΝΑΚΑΣ 1 - Συγκεντρωτικός Πίνακας Δεδομένων**

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Συγκεντρωτικός Πίνακας Δεδομένων				
Ανοχή Σχεδιασμού Σκυροδέματος ( $f_{ck}$ )			<b>30</b>	MPa
Διαστάσεις Υποστυλώματος	$h_{tot}$		<b>640</b>	mm
	$b_{tot}$		<b>640</b>	mm
Ανοχή Χάλυβα			<b>275</b>	MPa
Διατομή Σιδηροδοκού	<b>HEB 300</b>	$A_g$	<b>149.1</b>	cm <sup>2</sup>
		$h$	<b>300</b>	mm
		$b = b_f$	<b>300</b>	mm
		$t_f$	<b>19</b>	mm
		$t_w$	<b>11</b>	mm
Διαστάσεις Μετωπικής Πλάκας	Πάχος Μετωπικής Πλάκας ( $t = t_p$ )		<b>30</b>	mm
	Πλάτος Μετωπικής Πλάκας κατά X ( $b_1$ )		<b>500</b>	mm
	Πλάτος Μετωπικής Πλάκας κατά Y ( $b_2$ )		<b>500</b>	mm
Συντελεστής Υλικού του Κόμβου		$\beta_1$	<b>1</b>	
Αγκύρια	<b>M24</b>	Διάμετρος ( $d$ )	<b>24</b>	mm
		Αριθμός αγκυρίων ( $n_{s,anchor}$ )	<b>8</b>	
		Αριθμός Αγκυρίων (Κατακόρυφος Άξονας)	<b>4</b>	
		Αριθμός Αγκυρίων (Οριζόντιος Άξονας)	<b>2</b>	
		Ύψος Παξίμαδιού ( $t_n$ )	<b>15.215</b>	mm
		Πάχος Ροδέλας	<b>8</b>	mm
		Εμβαδόν Σπειρώματος ( $A_{s,anchor}$ )	<b>3.53</b>	cm <sup>2</sup>
		Διάμετρος Οπής με ανοχή ( $d_{anchor,bore}$ )	<b>26</b>	mm
		Εμβαδόν Οπής με Ανοχή ( $A_{s,anchor,bore}$ )	<b>5.30929</b>	cm <sup>2</sup>
	Ποιότητα	<b>4.6</b>	$f_{yb}$	<b>240</b>
		$f_{up}$	<b>400</b>	MPa
Χάλυβες Σκυροδέματος	Αριθμός Ράβδων Αναμονών στον Άξονα x-x		<b>5</b>	
	Αριθμός Ράβδων Αναμονών στον Άξονα y-y		<b>5</b>	
	Πάχος Ράβδων Αναμονών $\Phi$		<b>14</b>	mm
	Επικάλυψη Αναμονών		<b>35</b>	mm
	Ποιότητα	<b>S 400</b>	$f_{ys}$	<b>400</b>

Μερικά από τα δεδομένα το οποία πρέπει να συμπληρωθούν απεικονίζονται στο Σχ. 3.1, όπως φαίνεται στην επόμενη σελίδα.



**Σχήμα 3.1: Διατομή κάτω από τη Μετωπική πλάκα**

Για ευκολία του χρήστη έχουν δημιουργηθεί πίνακες σε άλλα φύλλα - καρτέλες εντός του προγράμματος Excel με τις ιδιότητες των υλικών τα οποία συνεισφέρουν στις σύμμικτες κατασκευές καθώς και συγκεντρωτικοί πίνακες με τις σιδηρές διατομές γεωμετρίας διπλού T. Στο Σχ. 3.2 φαίνονται οι καρτέλες αυτές που έχουν δημιουργηθεί.

**ΠΑΡΑΔΟΧΗ:** Οι σιδηρές διατομές για τις οποίες το πρόγραμμα δίνει τα επιθυμητά αποτελέσματα είναι οι διατομές γεωμετρίας διπλού T. Συγκεκριμένα, αυτές είναι οι εξής: *IPE, IPN, HEA, HEB, HEM*. Επίσης, το πρόγραμμα δίνει άρτια αποτελέσματα και για συγκολλητές διατομές.



**Σχήμα 3.2: Καρτέλες με τις Ιδιότητες Υλικών και με τις Σιδηρές Διατομές (γεωμετρία Διπλό T)**

Οι τιμές των αντοχών σκυροδέματος και μέτρου ελαστικότητας μπορούν να ληφθούν από τον Πίνακα 3.2. Οι αντοχές δομικού χάλυβα, οι διαστάσεις κοχλιών και αγκυρίων, οι ονομαστικές τιμές του ορίου διαρροής  $f_{yb}$  και της εφελκυστικής αντοχής  $f_{ub}$  για κοχλίες και αγκύρια και τέλος οι αντοχές των χαλύβων σκυροδέματος, μπορούν να ληφθούν από τους Πίνακες 3.3, 3.4, 3.5 και 3.6 αντίστοιχα, όπως φαίνεται ακολούθως. Οι ανωτέρω αναφερθέντες Πίνακες βρίσκονται στο φύλλο “ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΛΙΚΩΝ”.

**Πίνακας 3.2: Τιμές των αντοχών σκυροδέματος (MPa) και μέτρου ελαστικότητας (GPa)**

<b>ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ</b>							
Ποιότητα Σκυροδέματος	C20/25	C25/35	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
$f_{ck}$	20	25	30	35	40	45	50
$f_{cm}$	28	33	38	43	48	53	58
$f_{ctm}$	2.2	2.36	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1
$f_{ctk0.05}$	1.5	1.8	2	2.2	2.5	2.7	2.9
$f_{ctk0.95}$	2.9	3.3	3.8	4.2	4.6	4.9	5.3
$E_{cm}$	29	30.5	32	33.5	35	36	37

**Πίνακας 3.3: Χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής  $f_y$  και εφελκυστικής αντοχής  $f_u$  του δομικού χάλυβα**

<b>ΔΟΜΙΚΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ</b>				
Ποιότητα κατά EN 10025-2	Πάχος στοιχείου t			
	t ≤ 40 mm		40 mm < t ≤ 80 mm	
	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	$f_u$ (MPa)
S235	235	360	215	340
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	490
S450	440	550	410	550

**Πίνακας 3.4: Τιμές των αντοχών σκυροδέματος και μέτρου ελαστικότητας**

<b>ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΟΧΛΙΩΝ - ΑΓΚΥΡΙΩΝ (mm)</b>								
<b>Κοχλίες</b>	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
d σπειρώματος	12	16	20	22	24	27	30	36
d κορμού, κοινοί κοχλίες	12	16	20	22	24	27	30	36
d κορμού, εφαρμοσμένοι κοχλίες	13	17	21	23	25	28	31	37
Ανοχή οπών	1*	2	2	2	2	3	3	3
Εμβαδό οπής με Ανοχή ( $A_{s,anchor,bore}$ )	1.32732	2.54469	3.80133	4.52389	5.30929	7.06858	8.55299	11.9459
Εμβαδό σπειρώματος $A_s$ (cm <sup>2</sup> )	0.843	1.57	2.45	3.03	3.53	4.59	5.61	8.17
Υψος παξιμαδιού ( $t_n$ )	8.18	10.18	13.215	14.215	15.215	17.215	19.26	23.26
<b>Πάχος Δακτυλίων</b>								
Δακτύλιοι DIN 7989	8	8	8	8	8	8	8	8
Δακτύλιοι DIN 6916	3	4	4	4	4	5	5	6

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Επιτρέπεται ανοχή οπής 2 mm με την προϋπόθεση ότι η αντοχή σχεδιασμού της ομάδας κοχλιών σε σύνθλιψη άντυνας είναι μεγαλύτερη ή ίση της αντοχής σε διάτμηση. Επιπλέον για τις κατηγορίες κοχλιών 4.8, 5.8, 6.8, 8.8, 10.9 η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση  $F_{v,Rd}$  πρέπει να μειώνεται με το συντελεστή 0,85.

**Πίνακας 3.5: Χαρακτηριστικές τιμές ορίου διαρροής  $f_{yb}$  και εφελκυστικής αντοχής  $f_{ub}$  για κοχλίες - αγκύρια**

<b>Ονομαστικές τιμές του ορίου διαρροής <math>f_{yb}</math> και της εφελκυστικής αντοχής <math>f_{ub}</math> για κοχλίες - αγκύρια</b>								
Τύπος κοχλιών	Κοινοί					Υψηλής αντοχής		
	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	
Ποιότητα	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	
$f_{yb}$ (MPa)	240	320	300	400	480	640	900	
$f_{ub}$ (MPa)	400	400	500	500	600	800	1000	

**Πίνακας 3.6: Χαρακτηριστικές τιμές του ορίου διαρροής χαλύβων σκυροδέματος**

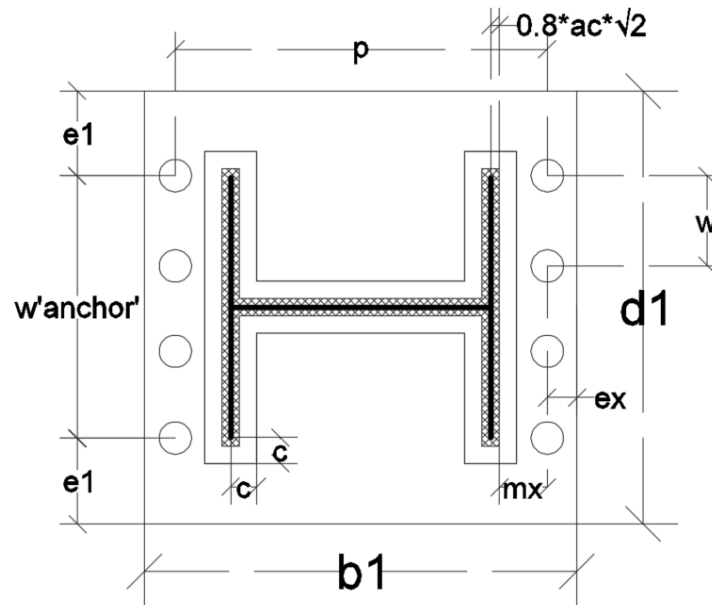
<b>ΧΑΛΥΒΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ</b>		
Ποιότητα Χάλυβα		Όριο Διαρροής
ΕΛΟΤ 959	ΕΛΟΤ 971	$f_{ys}$ (Mpa)
S 400	S 400 s	400
S 500	S 500 s	500

Επίσης, ο Πίνακας 3.7 (ΠΙΝΑΚΑΣ 2 - Λεπτομέρεια Μετωπικής Πλάκας) είναι ένα παράδειγμα συμπληρωμένων δεδομένων και μπορεί να επεξεργαστεί ανάλογα με τις διαστάσεις που επιθυμεί ο χρήστης να δώσει στη μετωπική πλάκα στην οποία εδράζεται το σύμμικτο υποστύλωμα.

**Πίνακας 3.7: ΠΙΝΑΚΑΣ 2 - Λεπτομέρεια Μετωπικής Πλάκας**

<b>ΠΙΝΑΚΑΣ 2 :</b>		
<b>Λεπτομέρεια Μετωπικής Πλάκας</b>		
$e = e_x =$	45	mm
$e_1 =$	100	mm
$\rho =$	410	mm
Πάχος Συγκόλλησης $a_c =$	10	mm
$w_{anchors} =$	300	mm
$m_x =$	43.6862915	mm

Αντίστοιχα, στο Σχ. 3.3 απεικονίζονται οι λεπτομέρειες της μετωπικής πλάκας έτσι ώστε ο χρήστης να γνωρίζει ποια είναι η κάθε διάσταση την οποία καλείται να συμπληρώσει.



Σχήμα 3.3: Λεπτομέρειες μετωπικής πλάκας

### 3.2.2 Μέθοδος Επίλυσης

#### 3.2.2.1 Αντοχή τμήματος της πλάκας έδρασης προς την πλευρά των εφελκόμενων αγκυρίων

Αρχικά, πραγματοποιείται ο έλεγχος της επιμήκυνσης του κοχλία αγκυρώσεως. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να αποφανθούμε για το αν έχουν εμφανιστεί δυνάμεις επαφής (δηλαδή  $L_b \leq L_b^*$ ), είτε όχι. Συνεπώς, θα είναι εύκολο στο χρήστη να γνωρίζει και τους πιθανούς μηχανισμούς αστοχίας από τους οποίους κινδυνεύει η έδραση του συμμίκτου υποστυλώματος.

$$L_b = 8*d + t_g + t_p + t_{wa} + 0,5*t_n$$

είναι η επιμήκυνση του κοχλία αγκυρώσεως / αγκυρίου, η οποία είναι ίση με το άθροισμα των:

- α) 8 φορές την ονομαστική διάμετρο του κοχλία  $d$
- β) το πάχος του κονιάματος  $t_g$
- γ) το πάχος της μετωπικής πλάκας  $t_p$
- δ) το πάχος της ροδέλας  $t_{wa}$
- ε) το μισό ύψος του παξιμαδιού  $t_n$



**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Το πάχος του κονιάματος  $t_g$  το λαμβάνουμε ίσο με το “0”, καθώς πλέον η σιδηροδοκός είναι πλήρως εγκιβωτισμένη στο σκυρόδεμα, με αποτέλεσμα το σκυρόδεμα που υπάρχει κάτω από τη μετωπική πλάκα να μην συνυπολογίζεται στον τύπο.

ενώ

$$L_b^* = (8,8 * m^3 * A_s) / (\sum l_{eff,1} * t_p^3)$$

όπου

$$m = m_x = \frac{(b_1 + h)}{2} + e_x - 0,8 * a * \sqrt{2}$$

Η τιμή  $m$  λαμβάνεται σύμφωνα με την § 2.2.3, και συγκεκριμένα  $b_1$  είναι το πλάτος της μετωπικής πλάκας στον άξονα X (παράλληλο με τον ισχυρό άξονα της σιδηροδοκού),  $h$  είναι το ύψος της σιδηροδοκού και  $a_c$  είναι το πάχος της συγκόλλησης. Η τιμή  $e_x$  φαίνεται στο Σχ. 3.3.

Η τιμή  $A_s$  είναι το εμβαδό του σπειρώματος του αγκυρίου.

Η τιμή  $\sum l_{eff,1}$  λαμβάνεται σύμφωνα με την § 2.2.6, όπως φαίνεται στον Πίν. 6.6,

Η τιμή  $t_p$  είναι το πάχος της μετωπικής πλ.

Εάν η επιμήκυνση του αγκυρίου  $L_b$  είναι μεγαλύτερη από την τιμή  $L_b^*$ , τότε δεν εμφανίζονται δυνάμεις επαφής και οι πιθανοί μηχανισμοί αστοχίας είναι οι εξής:

- Μηχανισμός 1-2 (Αστοχία κοχλία με πλήρη διαρροή του πέλματος)
- Μηχανισμός 3

Αντιθέτως, εάν η επιμήκυνση του αγκυρίου  $L_b$  είναι μικρότερη από την τιμή  $L_b^*$ , τότε υπάρχει η δυνατότητα εμφάνισης δυνάμεων επαφής και συνεπώς οι τρεις μηχανισμοί αστοχίας είναι πιθανοί.

Οι 3 μηχανισμοί αστοχίας είναι οι εξής:

- Μηχανισμός 1: Πλήρης διαρροή του πέλματος
- Μηχανισμός 2: Αστοχία κοχλία με διαρροή του πέλματος
- Μηχανισμός 3: Αστοχία κοχλία

Οι τιμές των εφελκυστικών αντοχών σχεδιασμού κάθε μηχανισμού παρατίθενται εκτενέστερα στην § 2.2.3, όπως φαίνεται στον Πίν. 6.2.

Σημειωτέον, στον τρίτο (3) μηχανισμό αστοχίας, η τιμή της εφελκυστικής αντοχής σχεδιασμού  $F_{T,3,Rd}$  προκύπτει από το άθροισμα των εφελκυστικών αντοχών σχεδιασμού των αγκυρίων στην εφελκυσόμενη πλευρά.

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

Τέλος, ως αντοχή του τμήματος της πλάκας έδρασης προς την πλευρά των εφελκόμενων αγκυρίων λαμβάνεται η ελάχιστη εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού ενός από τους τρεις μηχανισμούς αστοχίας.

$$F_{T,Rd} = \min\{ F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd} \}$$

### 3.2.2.2 Διαστάσεις ενεργού θεμελίου

Οι διαστάσεις του ενεργού θεμελίου πρέπει να πληρούν κάποιες προϋποθέσεις και προκύπτουν από περιορισμούς, όπως φαίνεται στα Σχήματα 3.4 & 3.5. Οι περιορισμοί αυτοί είναι οι εξής:

- $b_2 \leq 3 \cdot b_1$  ή αλλιώς  $\max b_2 = 3 \cdot b_1$
- $d_2 \leq 3 \cdot d_1$  ή αλλιώς  $\max d_2 = 3 \cdot d_1$

Η επιφάνεια  $A_{c1} = b_2 \cdot d_2$  περιέχεται όλη στην κάτω επιφάνεια της θεμελίωσης και συγχρόνως ισχύει

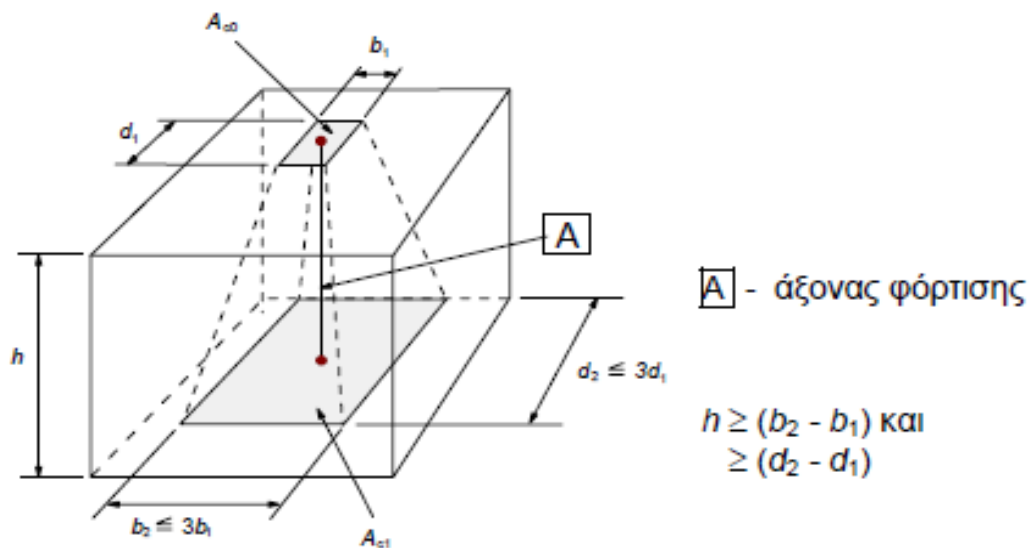
- $h \geq b_2 - b_1 = 2 \cdot b_1$

και

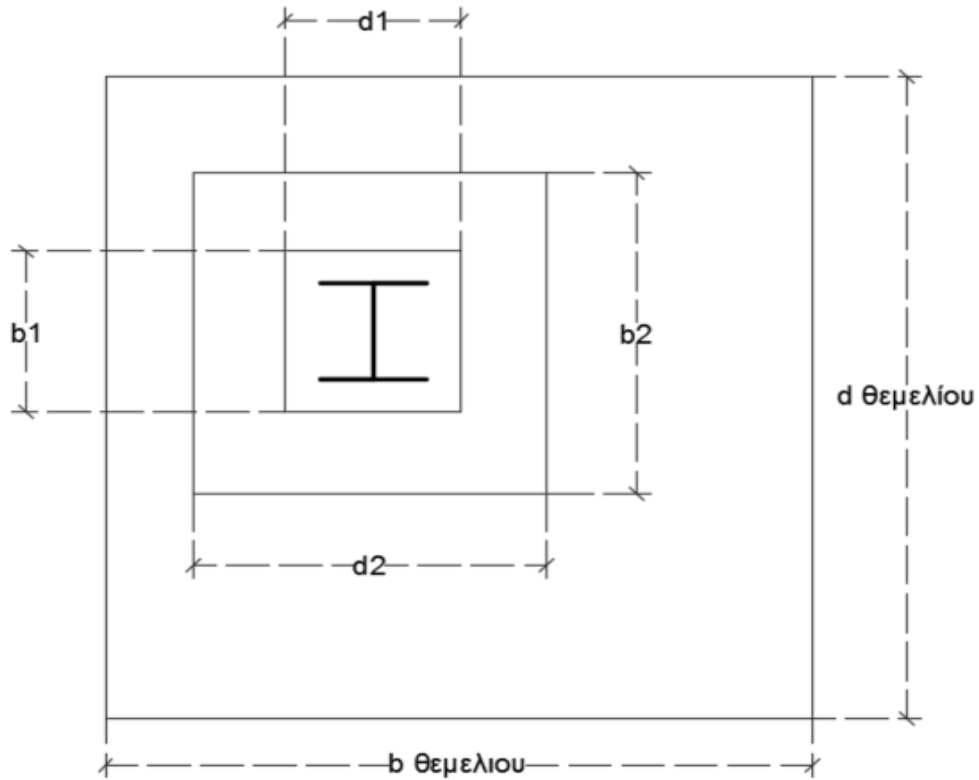
- $h \geq d_2 - d_1 = 2 \cdot d_1$

Άρα  $A_{c0} = b_1 \cdot d_1$

$A_{c1} = b_2 \cdot d_2$



Σχήμα 3.4: Παραδοχές κατανομής φορτίου σε περιοχές με συγκεντρωμένη φόρτιση



**Σχήμα 3.5: Κάτοψη Θεμελίου & Διαστάσεις**

### 3.2.2.3 Αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος

Για ομοιόμορφα κατανεμημένο φορτίο επί μιας επιφάνειας  $A_{c0}$ , βλ. Σχήματα 3.4 & 3.5, η ανθιστάμενη μοναχική δύναμη μπορεί να προσδιορίζεται ως εξής:

$$F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot \sqrt{A_{c1} / A_{c0}} \leq 3,0 \cdot f_{cd} \cdot A_{c0} \quad \dots (6.63)$$

όπου:

$A_{c0}$  είναι η φορτιζόμενη επιφάνεια,

$A_{c1}$  είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη επιφάνεια κατανομής με σχήμα όμοιο με αυτό του  $A_{c0}$

Η επιτρεπόμενη επιφάνεια  $A_{c1}$  που απαιτείται για την κατανομή της ανθιστάμενης δύναμης  $F_{Rdu}$  πρέπει να πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- Το ύψος για την κατανομή του φορτίου προς τη διεύθυνση φόρτισης πρέπει να ανταποκρίνεται στις συνθήκες που δίνονται στο Σχ. 6.29
- Το κέντρο της επιτρεπόμενης επιφάνειας κατανομής  $A_{c1}$  πρέπει να βρίσκεται επί του άξονα της φόρτισης που διέρχεται από το κέντρο της φορτιζόμενης επιφάνειας  $A_{c0}$
- Εάν στη διατομή του σκυροδέματος δρα παραπάνω από μία θλιπτική δύναμη, οι επιφάνειες κατανομής που θα χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό δεν πρέπει να αλληλεπικαλύπτονται

Η τιμή της  $F_{Rdu}$  πρέπει να μειωθεί αν το φορτίο δεν κατανέμεται ομοιόμορφα επί της επιφάνειας  $A_{c0}$  ή αν η τιμή της τέμνουσας είναι υψηλή.

### 3.2.2.4 Αντοχή επαφής της έδρασης

Η δύναμη σχεδιασμού έδρασης της σύνδεσης  $f_{jd}$  θα πρέπει να καθορίζεται από:

$$f_{jd} = \beta_j * F_{Rdu} / (b_{eff} * l_{eff})$$

όπου

$\beta_j$  είναι ο συντελεστής του υλικού σύνδεσης του θεμελίου, ο οποίος μπορεί να ληφθεί ως 2/3 υπό την προϋπόθεση ότι η χαρακτηριστική αντοχή του κονιάματος δεν είναι μικρότερη από 0,2 φορές τη χαρακτηριστική αντοχή του σκυροδέματος θεμελίωσης και το πάχος του κονιάματος δεν είναι μεγαλύτερο από 0,2 φορές το μικρότερο πλάτος της πλάκας έδρασης χάλυβα ή αλλιώς της μετωπικής πλάκας. Σε περιπτώσεις όπου το πάχος του κονιάματος είναι μεγαλύτερο από 50 mm, η χαρακτηριστική αντοχή του κονιάματος πρέπει να είναι τουλάχιστον η ίδια με εκείνη του σκυροδέματος θεμελίωσης.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Στο πρόγραμμα ο συντελεστής του υλικού σύνδεσης του θεμελίου έχει ληφθεί ίσος με τη μονάδα 1. Ο λόγος για τον οποίο έγινε αυτή η επιλογή της τιμής  $\beta_j$  είναι ο εξής: Τόσο το σύμμικτο υποστύλωμα, όσο και η μετωπική πλάκα είναι πλήρως εγκιβωτισμένα με αποτέλεσμα να μην είναι απαραίτητη η παρουσία του υλικού σύνδεσης του θεμελίου. Ακριβώς λοιπόν κάτω από τη μετωπική πλάκα υπάρχει σκυρόδεμα και γι' αυτό δεν απαιτείται μείωση της αντοχής επαφής της έδρασης. Ο τύπος πλέον μετασχηματίζεται σε:

$$f_{jd} = F_{Rdu} / (b_{eff} * l_{eff})$$

$F_{Rdu}$  είναι η συγκεντρωμένη δύναμη αντίστασης σχεδιασμού που δίνεται στον EN 1992, όπου το  $A_{c0}$  πρέπει να λαμβάνεται ως  $(b_{eff} * l_{eff})$ .

Το συνολικό μήκος  $l_{eff}$  και το συνολικό πλάτος  $b_{eff}$  της σιδηράς διατομής, θα πρέπει να είναι τέτοιο ώστε η αντοχή σχεδιασμού σε θλίψη του στελέχους να είναι ισοδύναμη με εκείνη του βασικού στοιχείου σύνδεσης, που αυτό αντιπροσωπεύει.

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Το ενεργό μήκος και το ενεργό πλάτος ενός ισοδύναμου βραχέος T και αντιστοίχως της σιδηράς διατομής, είναι θεωρητικά μήκη και μπορεί να είναι μικρότερα ή ίσα με τις φυσικές διαστάσεις του βασικού στοιχείου σύνδεσης, που αυτό αντιπροσωπεύει.

### 3.2.2.5 Ενεργός επιφάνεια έδρασης

Οι δυνάμεις που μεταφέρονται μέσω ενός βραχέος T θα πρέπει να θεωρηθούν ότι εκτείνονται ομοιόμορφα, όπως φαίνεται στο Σχ. 6.4 (α) και (β). Η πίεση στην προκύπτουσα περιοχή έδρασης δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τη δύναμη σχεδιασμού  $f_j d$  και το πρόσθετο πλάτος της έδρασης,  $c$ , δεν πρέπει να υπερβαίνει:

$$c = t * [f_y / (3 * f_j d * \gamma_{M0})]^{0.5}$$

όπου:

$t$  είναι το πάχος της μετωπικής πλάκας

$f_j d$  είναι η αντοχή επαφής της έδρασης της μετωπικής πλάκας, όπως φαίνεται στην § 3.2.2.4.

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

Τέλος, η συνολική ενεργός επιφάνεια δίνεται από τον ακόλουθο τύπο

$$A_{eff,tot} = (h_a + 2*c) * (b_a + 2*c) - (b_a - t_w) * (h_a - 2*t_f - 2*c)$$

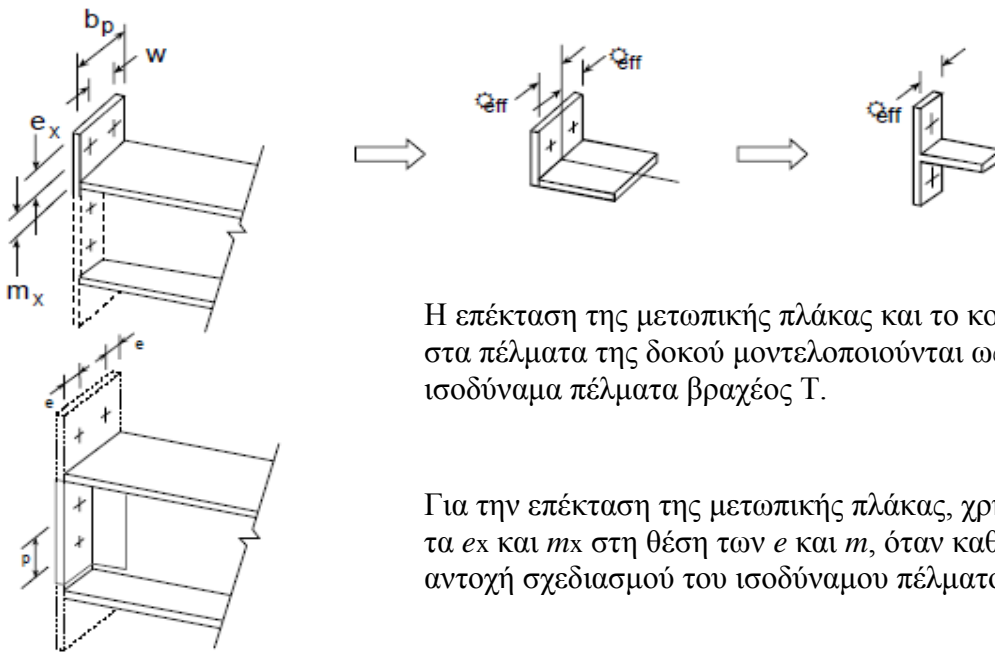
Όπου  $h_a$  και  $b_a$  είναι το ύψος και το πλάτος της σιδηράς διατομής αντίστοιχα.

### 3.2.2.6 Ενεργά μήκη στον οριζόντιο και στον κατακόρυφο άξονα

Η αντοχή σχεδιασμού και ο μηχανισμός αστοχίας μίας μετωπικής πλάκας σε κάμψη, μαζί με τους κοχλίες που παραλαμβάνουν τον εφελκυσμό, πρέπει να λαμβάνονται όμοια με αυτά ενός πέλματος ενός ισοδύναμου βραχέος  $T$ , βλ. § 6.2.4, για κάθε:

- μεμονωμένη σειρά κοχλίων που απαιτούνται να παραλάβουν εφελκυσμό
- ομάδα σειρών κοχλίων που απαιτούνται να παραλάβουν εφελκυσμό

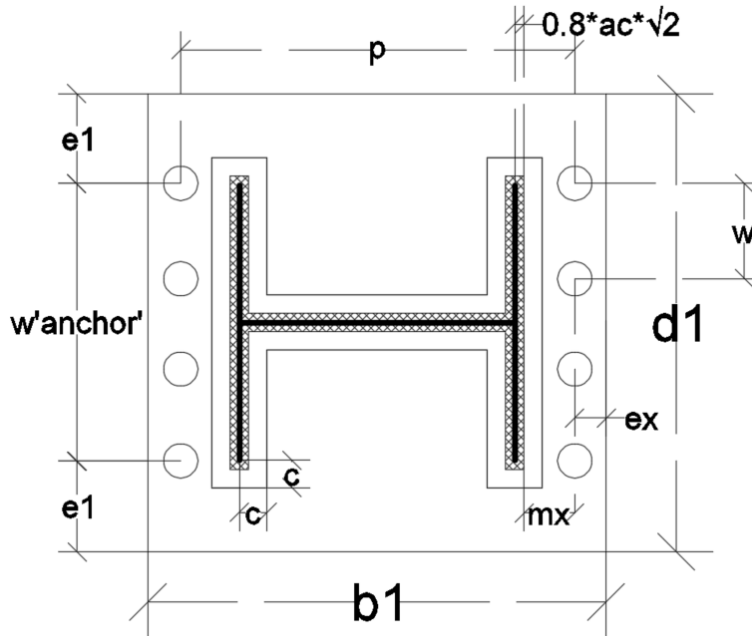
Οι ομάδες σειρών κοχλίων σε οποιαδήποτε πλευρά μίας ενίσχυσης συνδεδεμένης με τη μετωπική πλάκα, πρέπει να αντιμετωπίζονται ως ξεχωριστά ισοδύναμα βραχέα  $T$ . Σε εκτεταμένες μετωπικές πλάκες, η σειρά κοχλίων στο εκτεταμένο μέρος πρέπει επίσης να αντιμετωπίζεται ως ξεχωριστό ισοδύναμο βραχύ  $T$ , βλ. Σχ. 3.6. Η αντοχή σχεδιασμού και ο μηχανισμός αστοχίας πρέπει να καθορίζονται ξεχωριστά για κάθε ισοδύναμο βραχύ  $T$ .



Η επέκταση της μετωπικής πλάκας και το κομμάτι ανάμεσα στα πέλματα της δοκού μοντελοποιούνται ως 2 ξεχωριστά ισοδύναμα πέλματα βραχέος  $T$ .

Για την επέκταση της μετωπικής πλάκας, χρησιμοποιούνται τα  $e_x$  και  $m_x$  στη θέση των  $e$  και  $m$ , όταν καθορίζεται η αντοχή σχεδιασμού του ισοδύναμου πέλματος βραχέος  $T$ .

**Σχήμα 3.6: Μοντελοποίηση μίας εκτεταμένης μετωπικής πλάκας ως ξεχωριστά βραχέα  $T$**



### Λεπτομέρειες Μετωπικής Πλάκας

(Το παραπάνω σχήμα ξαναδίνεται για να φανεί ο τρόπος με τον οποίο προκύπτουν τα ενεργά μήκη)

### Οριζόντιος Άξονας – Ισχυρός Άξονας

Αναλόγως της μορφής αστοχίας, το ενεργό μήκος του τμήματος πλάκας έδρασης προς την πλευρά των εφελκυσόμενων αγκυριών, για ροπή περί τον ισχυρό άξονα του υποστυλώματος, δίνεται από τις σχέσεις:

$$\sum l_{eff,1} = l_{eff,nc} = \min \begin{cases} 4m_x + 1,25e_x \\ 2m_x + 0,625e_x + e \\ 2m_x + 0,625e_x + 0,5w \\ b_p/2 \end{cases}$$

$$\text{αλλά πρέπει } \sum l_{eff,1} \leq l_{eff,cp} = \min \begin{cases} 2\pi m_x \\ \pi m_x + 2e \\ \pi m_x + w \end{cases}$$

και  $\sum l_{eff,2} = l_{eff,nc}$ .

όπου

- $e = e_1$
- $m_x = \frac{(b_1+h)}{2} + e_x - 0,8*a*\sqrt{2}$
- $b_p = d_1$

### Κατακόρυφος Άξονας – Ασθενής Άξονας

Ομοίως με τον κατακόρυφο άξονα, αναλόγως της μορφής αστοχίας , το ενεργό μήκος του τμήματος πλάκας έδρασης προς την πλευρά των εφελκόμενων αγκυρίων, για ροπή περί τον ασθενή άξονα του υποστλώματος, δίνεται από τις σχέσεις:

$$\sum l_{eff,1} = l_{eff,nc} = \min \begin{cases} 4m_x + 1,25e_x \\ 2m_x + 0,625e_x + e \\ b_p/2 \end{cases}$$

αλλά πρέπει  $\sum l_{eff,1} \leq l_{eff,cp} = \min \{ 2\pi m_x , \pi m_x + 2e \}$

και  $\sum l_{eff,2} = l_{eff,nc}$ .

όπου ομοίως

- $e = e_1$
- $m_x = \frac{(b_1+h)}{2} + e_x - 0,8*a*\sqrt{2}$
- $b_p = d_1$



### 3.2.3 Χάραξη καμπύλης αλληλεπίδρασης $M_{Rd} - N_{Rd}$

Για τον έλεγχο διατομών υποστυλωμάτων ή της έδρασης που υποβάλλονται σε θλίψη και κάμψη, βρίσκεται κατά τα γνωστά πρώτα η αντοχή της διατομής έναντι καθενός εντατικού μεγέθους ξεχωριστά και ακολουθεί ο έλεγχος μέσω κατάλληλων εξισώσεων ή διαγράμματος αλληλεπίδρασης.

Για να χαραχθεί η καμπύλη αλληλεπίδρασης, υπολογίζονται σε διάφορα χαρακτηριστικά σημεία τα ζεύγη των τιμών  $M_{Rd}$ ,  $N_{Rd}$ .

#### ❖ Αξονικές Δυνάμεις

Η αντοχή έναντι αξονικής δύναμης της διατομής προκύπτει από την άθροιση των επιμέρους αξονικών δυνάμεων σχεδιασμού της ενεργού επιφάνειας έδρασης, του οπλισμού του σκυροδέματος και των αγκυρίων. Η αντοχή αυτή προκύπτει σύμφωνα με τη σχέση:

$$N_{Rd,i} = N_{\text{compression}} - N_{\text{tension}} \quad (3.1)$$

$$N_{Rd,i} = (N_{A,Rd,i} + N_{C,Rd,i} + N_{S,comp,Rd,i}) - (N_{Anchor,Rd,i} + N_{S,comp,Rd,i}) \quad (3.2)$$

όπου

$N_{\text{compression}}$  είναι η συνολική θλιπτική δύναμη από την οποία καταπονείται η διατομή

$N_{\text{tension}}$  είναι η συνολική θλιπτική δύναμη από την οποία καταπονείται η διατομή

$N_{A,Rd,i}$  είναι η αντοχή της ενεργού επιφάνειας έδρασης σε θλίψη

$N_{C,Rd,i}$  είναι η αντοχή του σκυροδέματος σε θλίψη

$N_{S,comp,Rd,i}$  είναι η αντοχή των οπλισμών σε θλίψη

$N_{Anchor,Rd,i}$  είναι η συνολική αντοχή των αγκυρίων σε εφελκυσμό

$N_{S,comp,Rd,i}$  είναι η αντοχή των οπλισμών σε εφελκυσμό

Για την χάραξη του διαγράμματος αλληλεπίδρασης, η αντοχή της διατομής έναντι εφελκυσμού λαμβάνεται με αρνητικό πρόσημο.

### ❖ Καμπτική Ροπή

Η καμπτική ροπή που αναπτύσσει η διατομή για τις εκάστοτε αξονικές δυνάμεις, προκύπτει από την άθροιση των γινομένων κάθε αξονικής δύναμης με τον αντίστοιχο μοχλοβραχίονα που δημιουργεί η δύναμη αυτή από τους κεντροβαρικούς άξονες της διατομής αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα η αντοχή έναντι καμπτικής ροπής προκύπτει από τη σχέση:

$$M_{Rd,i} = M_{compression} + M_{tension}$$

$$\text{ή αλλιώς} \quad M_{Rd,i} = N_{compression} * r_{compression} + N_{tension} * r_{tension} \quad (3.3)$$

$$M_{Rd,i} = (M_{A,Rd,i} + M_{C,Rd,i} + M_{S,comp,Rd,i}) + (M_{Anchor,Rd,i} + M_{S,comp,Rd,i})$$

$$M_{Rd,i} = (N_{A,Rd,i} * r_{a,i} + N_{C,Rd,i} * r_{c,i} + N_{S,comp,Rd,i} * r_{S,comp,i}) + (N_{Anchor,Rd,i} * r_{anchor,i} + N_{S,comp,Rd,i} * r_{S,tension,i}) \quad (3.4)$$

όπου

$M_{compression}$  ,  $r_{compression}$  είναι η καμπτική ροπή που προκύπτει από τις θλιπτικές αξονικές δυνάμεις, την οποία αναπτύσσει η διατομή και ο αντίστοιχος μοχλοβραχίονας της συνολικής θλιπτικής δύναμης

$M_{tension}$  ,  $r_{tension}$  είναι η καμπτική ροπή που προκύπτει από τις εφελκυστικές αξονικές δυνάμεις, την οποία αναπτύσσει η διατομή και ο αντίστοιχος μοχλοβραχίονας της συνολικής εφελκυστικής δύναμης

$M_{A,Rd,i}$  ,  $r_{a,i}$  είναι η αντοχή της ενεργού επιφάνειας έδρασης σε καμπτική ροπή και ο αντίστοιχος μοχλοβραχίονας από τον οποίο προκύπτει

$M_{C,Rd,i}$  ,  $r_{c,i}$  είναι η αντοχή του σκυροδέματος σε καμπτική ροπή και ο αντίστοιχος μοχλοβραχίονας από τον οποίο προκύπτει

$M_{S,comp,Rd,i}$  ,  $r_{S,comp,i}$  είναι η αντοχή των οπλισμών σε καμπτική ροπή η και ο αντίστοιχος μοχλοβραχίονας από τον οποίο προκύπτει

$M_{Anchor,Rd,i}$  ,  $r_{anchor,i}$  είναι η συνολική αντοχή των αγκυρίων σε καμπτική ροπή και ο αντίστοιχος μοχλοβραχίονας από τον οποίο προκύπτει

$M_{S,comp,Rd,i}$  ,  $r_{S,tension,i}$  είναι η αντοχή των οπλισμών σε καμπτική ροπή και ο αντίστοιχος μοχλοβραχίονας από τον οποίο προκύπτει

Πρέπει να τονιστεί πως σε όλα τα σημεία των διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης, οι καμπτικές ροπές είναι υπολογισμένες ως προς το κέντρο βάρους της διατομής και όχι ως προς τον ουδέτερο άξονα του κάθε σημείου αντίστοιχα. Κι αυτό γιατί θεωρείται πως οι αξονικές δυνάμεις που ασκούνται στη διατομή, ασκούνται στο κέντρο αυτής.

#### ❖ Οριζόντιος Άξονας – Ισχυρός Άξονας

Ως χαρακτηριστικά σημεία της καμπύλης αλληλεπίδρασης επιλέγονται τα ακόλουθα:

Σημείο 0: όπου στη διατομή αναπτύσσεται μόνο καμπτική ροπή  $M_{Rd}$  ( $N_{Rd,0}=0$ ).

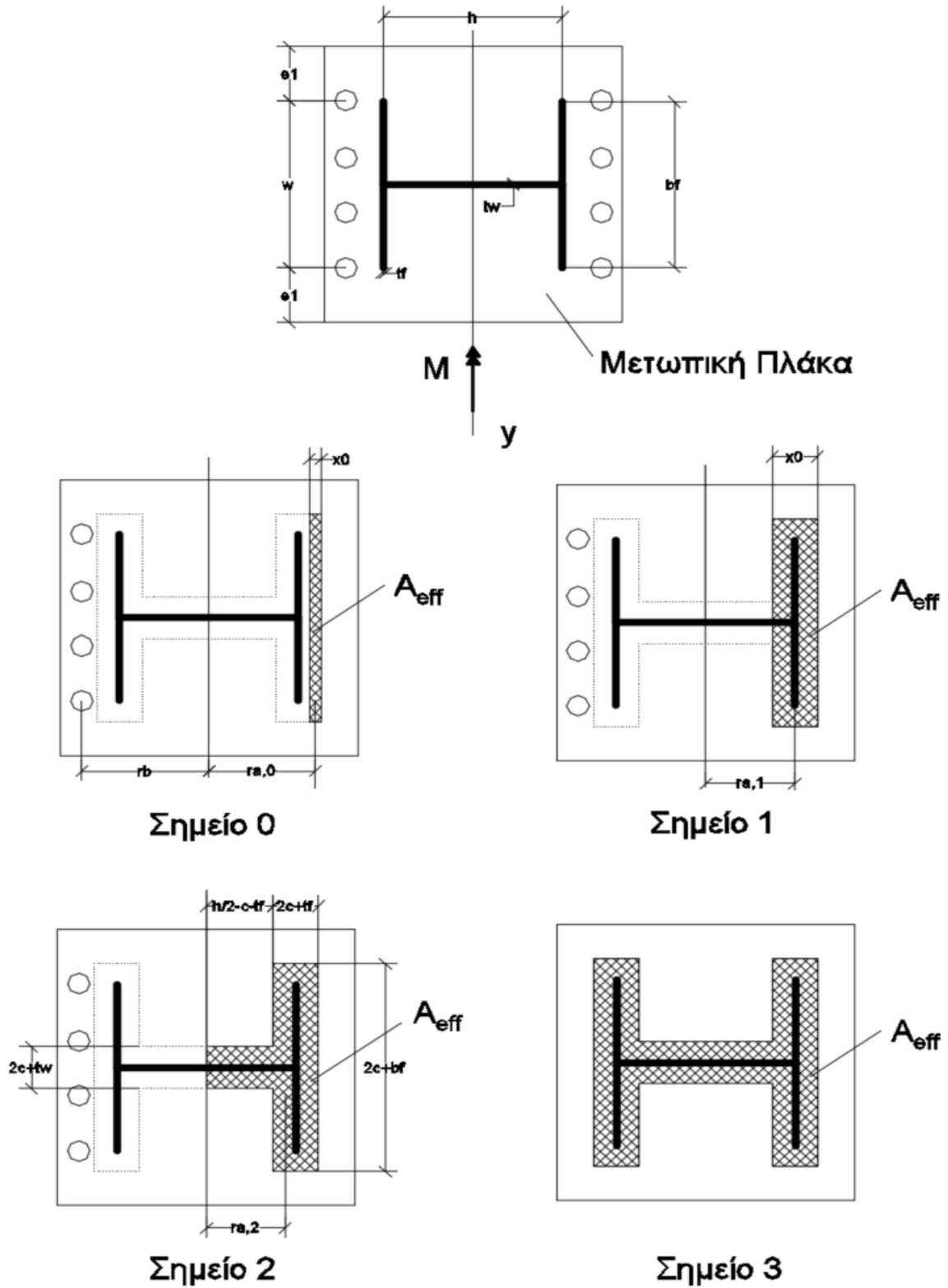
Σημείο 1: όπου ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με την εσωτερική πλευρά της ενεργού επιφάνειας έδρασης.

Σημείο 2: όπου ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με τον ισχυρό άξονα y-y του υποστυλώματος.

Σημείο 3: όπου αναπτύσσεται μόνο αξονική θλιπτική δύναμη  $N_{Rd,compression}$  ( $M_{Rd,3}=0$ ).

Σημείο 4: όπου αναπτύσσεται μόνο αξονική εφελκυστική δύναμη  $N_{Rd,tension}$  ( $M_{Rd,4}=0$ ).

Στο Σχ. 3.7, στις λεπτομέρειες έδρασης, δεν εμφανίζεται η σιδηρή διατομή κάτω από τη μετωπική πλάκα. Ο λόγος που αναπαρίσταται στα σχήματα είναι για να γίνει εύκολα κατανοητό το πώς προκύπτει η ενεργός επιφάνειας έδρασης γύρω από τη σιδηρή διατομή και το ποιο κομμάτι της συνολικής επιφάνειας της έδρασης που καλύπτεται από την θλιβόμενη ζώνη.



Σχήμα 3.7: Λεπτομέρεια Έδρασης της Μετωπικής Πλάκας & Επιφάνειες Κατανομής Ολπιτικών Τάσεων – Ισχυρός Άξονας

### ❖ Κατακόρυφος Άξονας – Ασθενής Άξονας

Ως χαρακτηριστικά σημεία της καμπύλης αλληλεπίδρασης επιλέγονται τα ακόλουθα:

Σημείο 0: όπου στη διατομή αναπτύσσεται μόνο καμπτική ροπή  $M_{Rd}$  ( $N_{Rd,0}=0$ ).

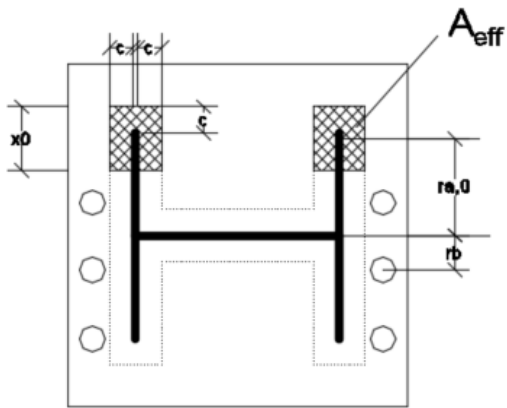
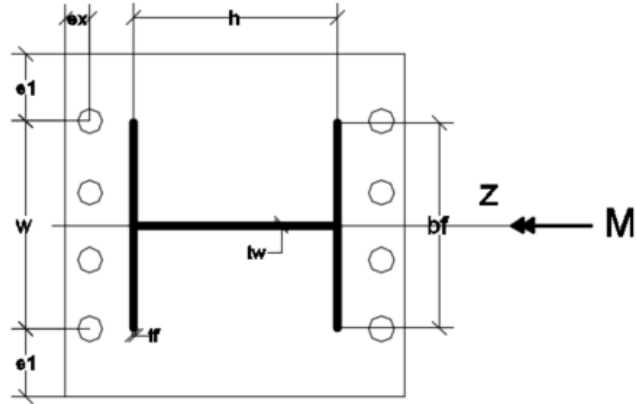
Σημείο 1: όπου ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με τον ασθενή άξονα z-z του υποστυλώματος.

Σημείο 2: όπου ο ουδέτερος άξονας διέρχεται από την ακμή της ενεργού επιφάνειας παρά τον κορμό της σιδηροδοκού.

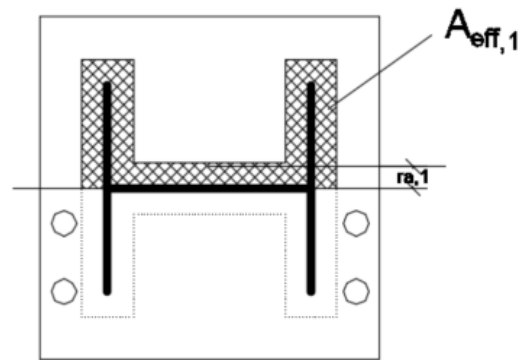
Σημείο 3: όπου αναπτύσσεται μόνο αξονική θλιπτική δύναμη  $N_{Rd,compression}$  ( $M_{Rd,3}=0$ ).

Σημείο 4: όπου αναπτύσσεται μόνο αξονική εφελκυστική δύναμη  $N_{Rd,tension}$  ( $M_{Rd,4}=0$ ).

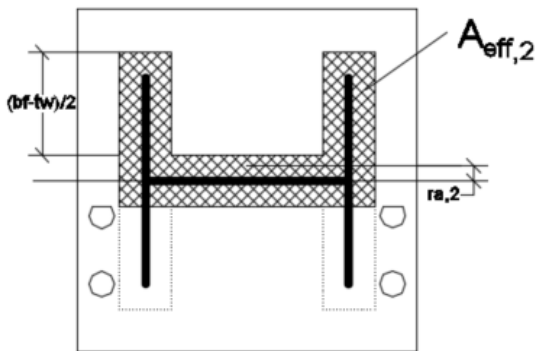
Στο Σχ. 3.8, απεικονίζονται οι λεπτομέρειες της έδρασης της μετωπικής πλάκας στον ασθενή άξονα, σε κάθε σημείο που απαιτείται για την δημιουργία του διαγράμματος αλληλεπίδρασης.



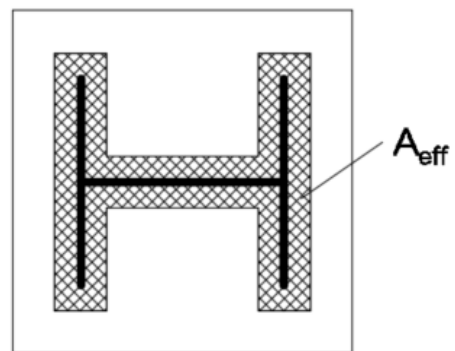
Σημείο 0



Σημείο 1



Σημείο 2



Σημείο 3

Σχήμα 3.8: Λεπτομέρεια Έδρασης της Μετωπικής Πλάκας & Επιφάνειες Κατανομής Θλιπτικών Τάσεων – Ασθενής Άξονας

### 3.2.3.1 Δυνάμεις και Τάσεις

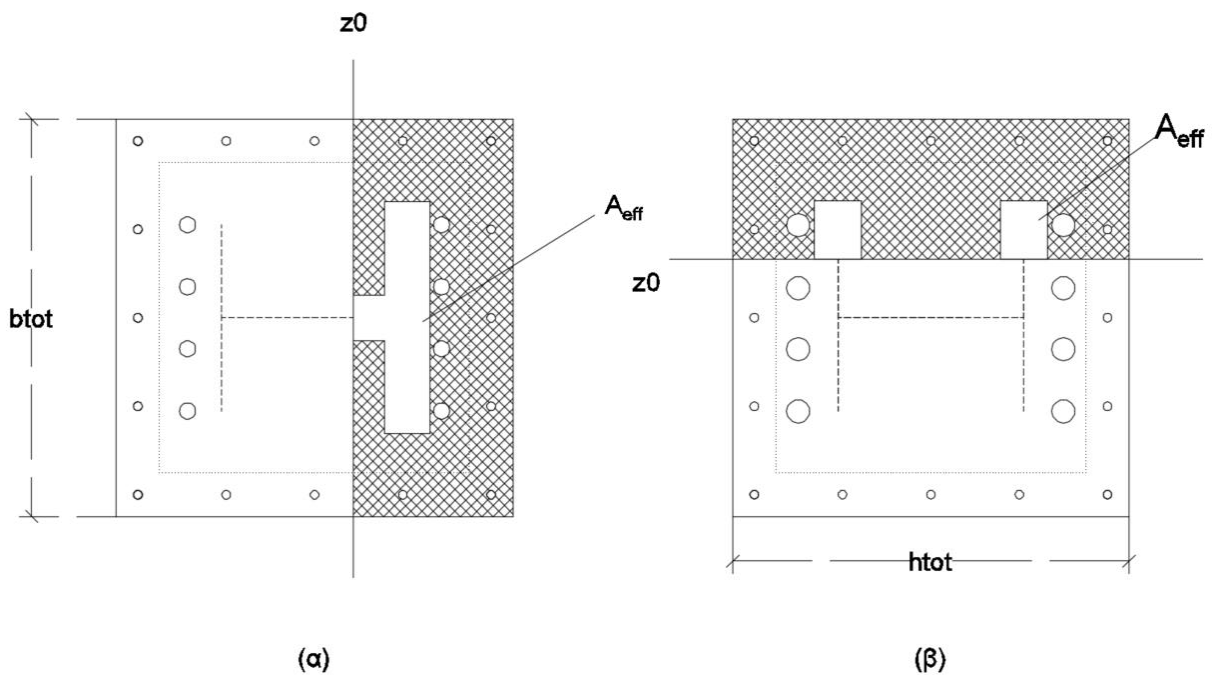
#### ❖ Δύναμη Σκυροδέματος

Η δύναμη που παραλαμβάνει το σκυροδέμα στη σύμμικτη διατομή δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$N_{c,Rd,i} = A_{c,i} * 0,85 * f_{cd}$$

Το εμβαδό του σκυροδέματος προκύπτει από τη συνολική επιφάνεια του σκυροδέματος μέχρι τον ουδέτερο άξονα του κάθε σημείου, μείον τα εξής εμβαδά, αναλόγως της περίπτωσης. Δείτε το ακόλουθο Σχ. 3.9.

- Εμβαδό του οπλισμού που υπάρχουν εντός της επιφάνειας αυτής του σκυροδέματος
- Εμβαδό των αγκυρίων που υπάρχουν εντός της επιφάνειας αυτής του σκυροδέματος
- Εμβαδό της επιφάνειας έδρασης εντός της επιφάνειας του σκυροδέματος



Σχήμα 3.9: Επιφάνεια σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη

α) Οριζόντιος Άξονας – Ισχυρός Άξονας

β) Κατακόρυφος Άξονας - Ασθενής Άξονας

$$\alpha) \quad A_{c,i} = b_{total} * (h_{total}/2 - z_0) - A_{s,total,x} - n_{s,anchor,x} * A_{s,anchor,bore} - A_{eff,i,x} \quad (3.5)$$

$$\beta) \quad A_{c,i} = h_{total} * (b_{total}/2 - z_0) - A_{s,total,y} - n_{s,anchor,y} * A_{s,anchor,bore} - A_{eff,i,y} \quad (3.6)$$

όπου:

$A_{s,total,x,y}$  είναι το συνολικό εμβαδό των αναμονών που υπάρχουν εντός της επιφάνειας αυτής του σκυροδέματος

$n_{s,anchor,x,y}$  είναι ο αριθμός των αγκυρίων που υπάρχουν εντός της θλιβόμενης ζώνης

$A_{s,anchor,bore}$  είναι το εμβαδό της οπής που έχει δημιουργηθεί στο σκυρόδεμα συμπεριλαμβανομένης της ανοχής

$A_{eff,i,x,y}$  είναι το εμβαδό της επιφάνειας έδρασης στη θλιβόμενη ζώνη

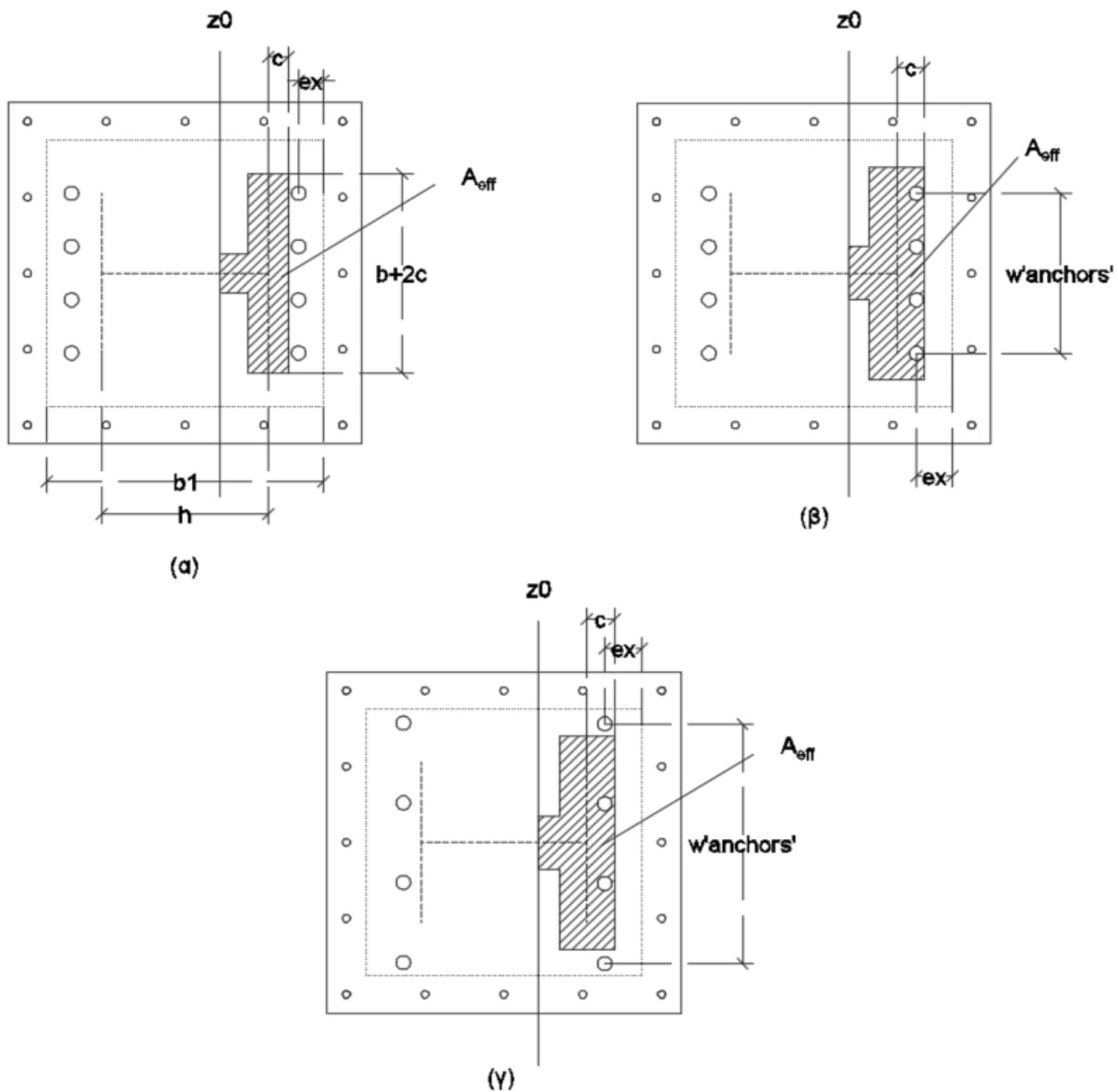
**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Ο αριθμός τόσο των αγκυρίων όσο και των αναμονών/του οπλισμού δεν είναι απαραίτητα *ακέραιος*. Αν ο ουδέτερος άξονας τέμνει είτε τα αγκύρια, είτε τον οπλισμό τότε αντίστοιχα υπολογίζονται τα εμβαδά των κυκλικών τμημάτων που δημιουργούνται.

#### ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ:

- Το σκυρόδεμα δεν παραλαμβάνει καθόλου εφελκυστικές δυνάμεις.
- Αν τα αγκύρια είναι εντός του  $A_{eff,i}$ , τότε δεν αφαιρώ το εμβαδό του από το  $A_{c,i}$ . Οι πιθανές περιπτώσεις των αγκυρίων στη θλιβόμενη ζώνη φαίνονται στο Σχ. 3.10.

**ΣΥΜΒΑΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ:** Όσον αφορά στη γεωμετρία των αγκυρίων το πρόγραμμα είναι μελετημένο να δώσει αποτελέσματα για τις πιθανές γεωμετρίες που απεικονίζονται στο Σχ. 3.10, και οι τιμές που αποδίδει το πρόγραμμα έχουν μία απόκλιση της τάξεως 0,1%. Η απόκλιση αυτή υπάρχει μόνο στο σημείο 0 (όπου στη διατομή αναπτύσσεται μόνο καμπτική ροπή  $M_{Rd}$  ( $N_{Rd,0}=0$ )) ενώ στα άλλα σημεία δεν υπάρχει απόκλιση. Το Πρόγραμμα έχει μελετηθεί μόνο για 1 αγκύριο πάνω κι ένα κάτω από την ενεργό επιφάνεια έδρασης. Στην περίπτωση «γ» του Σχήματος 3.10 μπορεί να υπάρχουν 2 αγκύρια πάνω από την ενεργό επιφάνεια έδρασης και 2 κάτω από αυτή κτλ. Σε αυτές τις περιπτώσεις το πρόγραμμα θα επιστρέψει αποτελέσματα αλλά *οι τιμές των καμπτικών ρομών στον ασθενή άξονα θα έχουν κάποια απόκλιση από τις αντίστοιχες πραγματικές τιμές.*





**Σχήμα 3.10 : Πιθανές περιπτώσεις γεωμετρίας ομάδας αγκυρίων**

α) Όλα τα αγκύρια είναι εκτός της ενεργού επιφάνειας έδρασης.

$$\text{Όταν } c \leq (b_1 - h) / 2 - ex \text{ και } w_{anchors} \leq b + 2 * c$$

β) Όλα τα αγκύρια είναι εντός της ενεργού επιφάνειας έδρασης.

$$\text{Όταν } c \geq (b_1 - h) / 2 - ex \text{ και } w_{anchors} \leq b + 2 * c$$

γ) Μερικά αγκύρια είναι εντός της ενεργού επιφάνειας έδρασης.

$$\text{Όταν } c \geq (b_1 - h) / 2 - ex \text{ και } w_{anchors} \geq b + 2 * c$$

## ❖ Δύναμη Αγκυρίων

Όπως φαίνεται και στον Πίν. 3.4 της Παραγράφου 2.2.2 , η αντοχή των αγκυρίων σε εφελκυσμό δίνεται από τον τύπο:

$$F_{t,Rd} = \frac{(k_2 * f_{ub} * A_s)}{\gamma_{M2}}$$

Όπου ο συντελεστής  $k_2$  είναι:

- $k_2 = 0,63$  για κοχλία βυθισμένης κεφαλής
- $k_2 = 0,90$  για συμβατικούς κοχλίες

και

- $f_{ub}$  είναι η εφελκυστική αντοχή των κοχλιών/αγκυρίων
- $A_s$  είναι το εμβαδό της διατομής του κοχλία/αγκυρίου στο σπείρωμα. Το εμβαδό του σπειρώματος δίνεται τόσο στο φύλλο του Προγράμματος “ Ιδιότητες Υλικών”, όσο και στον Πίνακα 3.4 της Παραγράφου 3.2.1.

Για κοχλίες βυθισμένης κεφαλής:

- η αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας  $F_{b,Rd}$  πρέπει να υπολογίζεται με βάση πάχος ελάσματος ίσο με το πλάτος του συνδεόμενου ελάσματος μείον το μισό της βύθισης
- για τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό  $F_{t,Rd}$  η γωνία και το ύψος της βύθισης πρέπει να συμφωνούν με τα Πρότυπα Αναφοράς: Ομάδα 4, διαφορετικά η αντοχή σε εφελκυσμό πρέπει να προσαρμόζεται ανάλογα.

## ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ:

- Τα αγκύρια δεν παραλαμβάνουν καθόλου θλιπτικές δυνάμεις, όποτε στην εξίσωση ισορροπίας για την εύρεση του  $z_0$ , στα σημεία 0 τόσο του ισχυρού όσο και του ασθενή άξονα, τα αγκύρια υπολογίζονται μόνο στις εφελκυστικές δυνάμεις.
- Στο Υπολογιστικό Μοντέλο / *Excel* χρησιμοποιούνται μόνο συμβατικοί κοχλίες, οπότε ο υπολογισμός της εφελκυστικής δύναμης  $F_{t,Rd}$  που παραλαμβάνει ο ένας κοχλίας γίνεται με τον συντελεστή  $k_2 = 0,90$ .

### ❖ Δύναμη Οπλισμού/Αναμονών

Η δύναμη που παραλαμβάνει ο οπλισμός και συγκεκριμένα η κάθε ράβδος μεμονωμένα δίνεται από τον τύπο:

$$N_{s,Rd,i} = \frac{(f_{ys} * A_s)}{1.15}$$

όπου

$f_{ys}$  είναι το όριο διαρροής του χάλυβα σκυροδέματος (MPa)

$A_s$  είναι το εμβαδό της διατομής της κάθε χαλύβδινης ράβδου

Ο τύπος είναι κοινός είτε απαιτείται η δύναμη που παραλαμβάνει ο οπλισμός στην εφελκόμενη, είτε στη θλιβόμενη ζώνη.

Όπως αναφέρθηκε ο αριθμός των αναμονών που εφελκούνται ή θλίβονται δεν είναι απαραίτητα ακέραιος. Για τον υπολογισμό των δυνάμεων αυτών, υπολογίζεται (στο υπολογιστικό μοντέλο) το εμβαδό των οπλισμών, που βρίσκονται εξ ολοκλήρου στην εφελκόμενη ή θλιβόμενη ζώνη αλλά και το εμβαδό των οπλισμών που πιθανώς τέμνονται από τον ουδέτερο άξονα.

### ❖ Δύναμη Επαφής της Έδρασης

Η δύναμη επαφής της έδρασης δίνεται από τον ακόλουθο τύπο

$$N_{A,Rd} = A_{eff,i} * f_{jd}$$

και το εμβαδό της ενεργού επιφάνειας  $A_{eff,i}$  κάθε σημείου του διαγράμματος αλληλεπίδρασης φαίνεται στα Σχήματα 3.7 και 3.8.

Υπενθυμίζεται πως η δύναμη σχεδιασμού έδρασης της σύνδεσης  $f_{jd}$  καθορίζεται από τον τύπο:

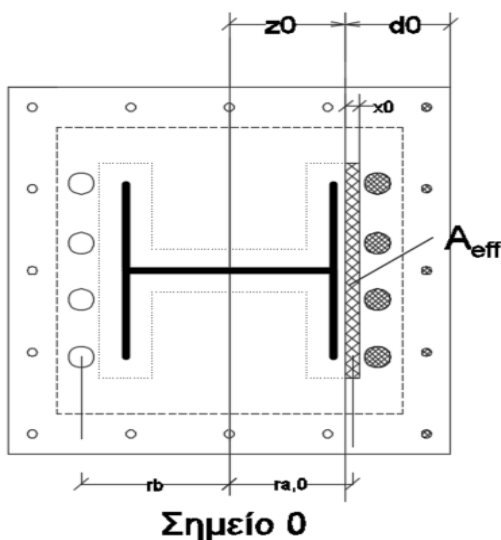
$$f_{jd} = \beta_j * F_{Rdu} / (b_{eff} * l_{eff})$$

όπου ο συντελεστής  $\beta_j$  λαμβάνεται ίσος με τη μονάδα 1, όπως εξηγείται και στην § 3.2.2.4.

### 3.2.3.2 Οριζόντιος Άξονας – Ισχυρός Άξονας

Όπως ήδη αναφέρθηκε κάτω από τη μετωπική πλάκα δεν εμφανίζεται η σιδηροδοκός. Ο λόγος που αναπαρίσταται στα σχήματα που ακολουθούν, είναι για την κατανόηση των διαστάσεων.

❖ Σημείο 0: όπου στη διατομή αναπτύσσεται μόνο καμπτική ροπή  $M_{Rd}$  ( $N_{Rd,0}=0$ )



Σχήμα 3.11 : Λεπτομέρεια Σημείου 0 κάτω από τη Μετωπική πλάκα

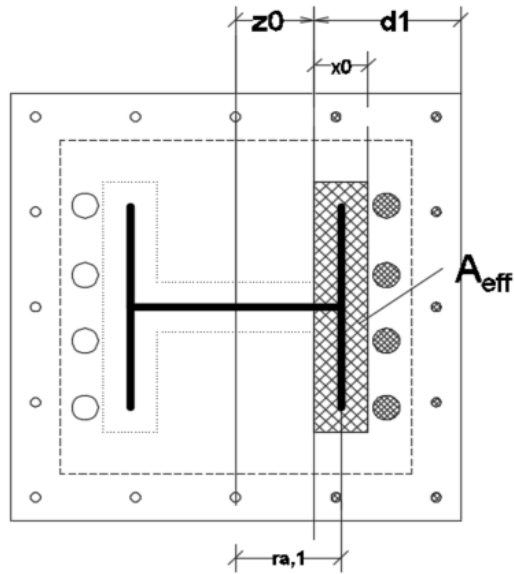
Το σημείο 0 λόγω της άγνωστης θέσης του ουδέτερου άξονα μελετήθηκε ως επί το πλείστον στη γλώσσα προγραμματισμού – VBA. Οι αξονικές δυνάμεις του κάθε μέλους της έδρασης, υπολογίζονται σύμφωνα με την § 3.2.3.1, ενώ οι μοχλοβραχίονες αυτών αλλά και οι ροπές που αναπτύσσονται στη διατομή, υπολογίζονται σύμφωνα με την § 3.2.3.

Στο Σημείο 0, εντός του Προγράμματος υπάρχουν κάποιοι “Βοηθητικοί Υπολογισμοί”. Πρέπει να τονιστεί πως έγινε ιδιαίτερη προσπάθεια το Πρόγραμμα να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα κι έτσι στους βοηθητικούς υπολογισμούς του οπλισμού και των αγκυρίων, υπολογίζονται τα εμβαδά των κομμένων τμημάτων των οπλισμών και των αγκυρίων, τα εμβαδά των ολόκληρων οπλισμών και αγκυρίων και κατ’ επέκταση το ακριβές εμβαδό αυτών τόσο στην εφελκόμενη όσο και στη θλιβόμενη ζώνη. Επίσης, υπολογίστηκε και το κέντρο βάρους συνολικό κέντρο βάρους των κομμένων και των ολόκληρων οπλισμών και αγκυρίων κι έτσι οι μοχλοβραχίονες που προκύπτουν είναι ρεαλιστικοί.

Οι ίδιοι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν και για υπόλοιπα σημεία των Διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης.

Τέλος, αν το πρόσημο του ουδέτερου άξονα έχει αρνητικό πρόσημο για κάποια συγκεκριμένη γεωμετρία, αυτό σημαίνει πως ο ουδέτερος άξονας έχει ξεπεράσει σε πλάτος το μέσον της διατομής.

- ❖ **Σημείο 1:** όπου ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με την εσωτερική πλευρά της ενεργού επιφάνειας έδρασης.



**Σημείο 1**

**Σχήμα 3.12 :** Λεπτομέρεια Σημείου 1 κάτω από τη Μετωπική πλάκα

Ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με την εσωτερική παρειά της ενεργού επιφάνειας έδρασης κι έτσι τα  $z_0$  και  $d_1$  υπολογίζονται από τους ακόλουθους τύπους:

$$z_0 = h/2 - t_f - c$$

$$d_1 = \frac{(htot - h)}{2} + t_f + c$$

Το  $x_0$  είναι το πλάτος της ενεργού επιφάνειας της έδρασης στη θλιβόμενη ζώνη και είναι ίσο με:

$$x_0 = t_f + 2*c$$

και συνεπώς το  $A_{eff,1}$  είναι ίσο με:

$$A_{eff,1} = (t_f + 2*c)*(b_f + 2*c)$$

Το  $r_{a,1}$  είναι:

$$r_{a,1} = \frac{h - t_f}{2}$$

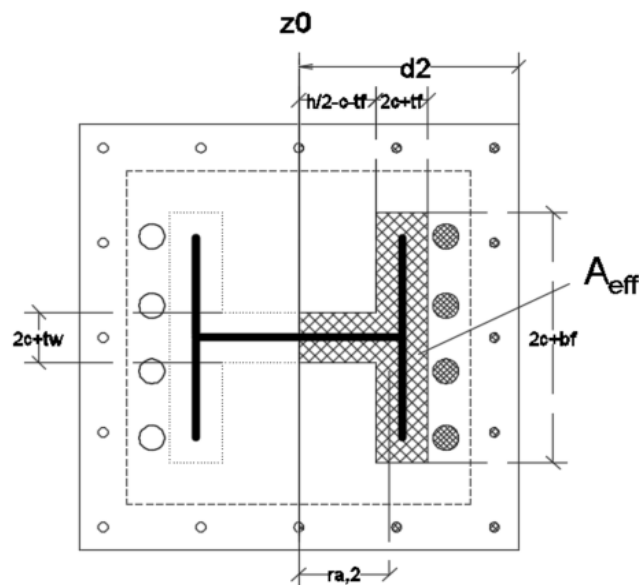
Το εμβαδό του σκυροδέματος  $A_{c,1}$  υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$A_{c,1} = b_{\text{total}} * d_1 - A_{s,\text{total},x} - n_{s,\text{anchor},x} * A_{s,\text{anchor},\text{bore}} - A_{\text{eff},1}$$

όπως αναφέρθηκε και στην εξίσωση 3.5 της προηγούμενης παραγράφου.

Τέλος, η αντοχή της διατομής έναντι αξονικής δύναμης και η καμπτική ροπή που αναπτύσσει η διατομή για τις εκάστοτε αξονικές δυνάμεις, υπολογίζονται σύμφωνα με τις εξισώσεις (3.1) ή (3.2) και (3.3) ή (3.4) αντίστοιχα.

- ❖ **Σημείο 2:** όπου ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με τον ισχυρό άξονα y-y του υποστυλώματος.



**Σημείο 2**

**Σχήμα 3.13 :** Λεπτομέρεια Σημείου 2 κάτω από τη Μετωπική πλάκα

Ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με τον ισχυρό άξονα y-y του υποστυλώματος και συνεπώς τα  $z_0$  και  $d_2$  είναι τα εξής:

$$z_0 = 0$$

$$d_2 = h_{\text{tot}} / 2$$

Το  $x_0$  πλέον είναι ίσο με:

$$x_0 = h/2 + c$$

Για την αποφυγή πιθανών σφαλμάτων στον υπολογισμό του εμβαδού των επιμέρους τμημάτων της ενεργού επιφάνεια έδρασης αυτή λαμβάνεται πιο εύκολα ίση με:

$$A_{\text{eff},2} = A_{\text{eff,tot}} / 2$$

$$A_{\text{eff},2} = \{ (h_a + 2*c) * (b_a + 2*c) - (b_a - t_w) * (h_a - 2*t_f - 2*c) \} / 2$$

Ο μοχλοβραχίονας που δημιουργεί το τμήμα της ενεργού αυτής επιφάνειας από τον κεντροβαρικό άξονα δίνεται από τον τύπο του Steiner και άρα:

$$r_{a,2} = \{ (\frac{h/2-c-t_f}{2}) * (2*c + t_w) * (h/2 - t_f - c) + (\frac{h-t_f}{2}) * (2*c + t_f) * (2*c + b_f) \} / A_{\text{eff},2}$$

Το εμβαδό του σκυροδέματος καθώς ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με τον ισχυρό άξονα y-y του υποστυλώματος είναι:

$$A_{c,2} = A_{c,tot} / 2$$

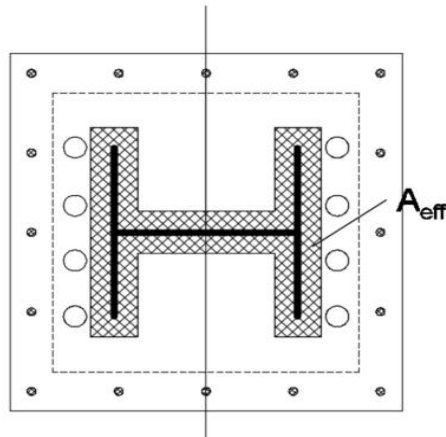
όπου

$$A_{c,tot} = b_{tot} * h_{tot} - A_{\text{eff,tot}} - A_{s,anchor,bore} - A_{s,total}$$

**ΠΡΟΣΟΧΗ:** Ο αριθμός των αγκυρίων που είναι εκτός της ενεργού επιφάνειας έδρασης εξαρτάται από τη γεωμετρία των αγκυρίων και της μετωπικής πλάκας, αλλά και από το ενεργό πλάτος  $c$ . Ο αριθμός των αγκυρίων εκτός της θλιβόμενης ζώνης δίνονται και εντός του προγράμματος. Επίσης, υπολογίζεται και ο αριθμός των αγκυρίων που υπάρχει εκτός της ενεργού επιφάνειας έδρασης για κάθε “τεταρτημόριο” της διατομής έτσι ώστε κατά τη χρήση του Προγράμματος, ο χρήστης να ξέρει τον αριθμό των αγκυρίων που αφαιρούνται από την επιφάνεια του σκυροδέματος.

Η αντοχή της διατομής έναντι αξονικής δύναμης και η καμπτική ροπή που αναπτύσσει η διατομή για τις εκάστοτε αξονικές δυνάμεις, υπολογίζονται όπως και για όλα τα σημεία του διαγράμματος αλληλεπίδρασης σύμφωνα με τις εξισώσεις (3.1) ή (3.2) και (3.3) ή (3.4) αντίστοιχα.

❖ Σημείο 3: όπου αναπτύσσεται μόνο αξονική θλιπτική δύναμη  $N_{Rd,compression}$  ( $M_{Rd,3}=0$ ).



Σημείο 3

Σχήμα 3.14 : Λεπτομέρεια Σημείου 3 κάτω από τη Μετωπική πλάκα

Όπως απεικονίζεται και στο Σχ. 3.14 όταν αναπτύσσεται τη διατομή μόνο αξονική θλιπτική δύναμη, τότε "ενεργοποιείται" ολόκληρη η ενεργός επιφάνεια έδρασης κάτω από τη μετωπική πλάκα. Συνεπώς, οι θλιπτικές δυνάμεις που ασκούνται στη διατομή είναι αυτές του σκυροδέματος, του οπλισμού και της ενεργού επιφάνειας έδρασης.

Τα αγκύρια, όπως αναφέρει και μία από τις παραδοχές που έχουν γίνει, δεν παραλαμβάνουν θλιπτικές δυνάμεις στο επίπεδο υπό της μετωπικής πλάκας.

Άρα:

$$N_{Rd,3} = N_{A,Rd,3} + N_{S,comp,Rd,3} + N_{C,Rd,3}$$

όπου

$$N_{A,Rd,3} = A_{eff,tot} * f_{jd}$$

$$N_{S,comp,Rd,3} = A_{s,tot} * \frac{f_{ys}}{1.15}$$

$$N_{C,Rd,3} = A_{c,tot} * 0,85 * f_{cd}$$

Για τον υπολογισμό του  $A_{c,tot}$ , από το συνολικό εμβαδό της διατομής  $b_{tot} * h_{tot}$  αφαιρείται το εμβαδό ολόκληρου του οπλισμού της διατομής, αφαιρείται η ενεργός επιφάνεια έδρασης και το εμβαδό των οπών των αγκυρίων που βρίσκονται εκτός της ενεργού επιφάνειας έδρασης.

Καμπτική ροπή δεν αναπτύσσεται στη διατομή.

$$M_{Rd,3}=0$$



❖ **Σημείο 4: όπου αναπτύσσεται μόνο αξονική εφελκυστική δύναμη  $N_{Rd,tension}$  ( $M_{Rd,4}=0$ ).**

Καθώς έχει γίνει η παραδοχή πως το σκυρόδεμα δεν παραλαμβάνει καθόλου εφελκυστικές δυνάμεις, τα επιμέρους στοιχεία που παραλαμβάνουν εφελκυστική δύναμη είναι:

- Τα αγκύρια
- Ο οπλισμός της διατομής

Στον εφελκυσμό δεν εμφανίζεται η ενεργός επιφάνεια έδρασης και συνεπώς η δύναμη αυτή δεν λαμβάνεται στον υπολογισμό της αντοχής της διατομής έναντι εφελκυσμού.

Όλα τα αγκύρια της διατομής καθώς και όλες οι ράβδοι του οπλισμού εφελκύνονται με αποτέλεσμα η αντοχή της διατομής να δίνεται από τη σχέση:

$$N_{Rd,4} = N_{Anchor,Rd,4} + N_{S,tension,Rd,4}$$

όπου

$$N_{Anchor,Rd,4} = n_{s,anchor} * F_{t,Rd}$$

$$N_{S,tension,Rd,4} = A_{s,tot} * \frac{f_{ys}}{1.15}$$

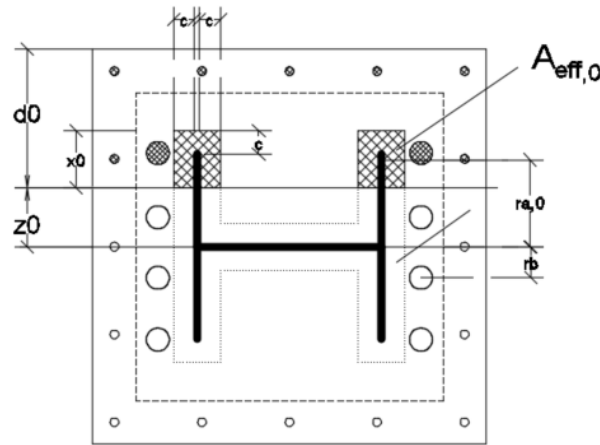
και  $n_{s,anchor}$  είναι ο συνολικός αριθμός των αγκυρίων στη διατομή.

Καμπτική ροπή δεν αναπτύσσεται στη διατομή.

$$M_{Rd,4}=0$$

### 3.2.3.3 Κατακόρυφος Άξονας – Ασθενής Άξονας

❖ Σημείο 0: όπου στη διατομή αναπτύσσεται μόνο καμπτική ροπή  $M_{Rd}$  ( $N_{Rd,0}=0$ ).



Σημείο 0

Σχήμα 3.15: Λεπτομέρεια Σημείου 0 κάτω από τη Μετωπική πλάκα

Όπως στο Σημείο 0 του ισχυρού άξονα έτσι και στον ασθενή, ο ουδέτερος άξονας της διατομής είναι άγνωστος. Συνεπώς, η εύρεση του ουδέτερου άξονα αλλά και ο υπολογισμός και των υπόλοιπων στοιχείων (π.χ. εμβαδό σκυροδέματος, εμβαδό ενεργού επιφάνειας έδρασης, και ο μοχλοβραχίονας αυτής, εμβαδά οπλισμών και αγκυρίων κτλ.) γίνεται μέσω των εντολών που συντάχθηκαν στη γλώσσα προγραμματισμού VBA.

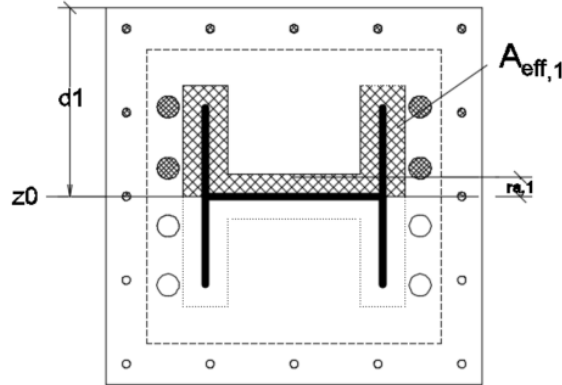
Αντίστοιχα με το Σημείο 0 του ισχυρού άξονα, οι αξονικές δυνάμεις του κάθε μέλους της έδρασης, υπολογίζονται σύμφωνα με την § 3.2.3.1, ενώ οι μοχλοβραχίονες αυτών αλλά και οι ροπές που αναπτύσσονται στη διατομή, υπολογίζονται σύμφωνα με την § 3.2.3.

Λόγω του βήματος με το οποίο το πρόγραμμα αναζητάει τον ουδέτερο άξονα της διατομής αλλά και λόγω κάποιων συμβάσεων που έγιναν, το άθροισμα των εφελκυστικών αξονικών δυνάμεων έχει κάποια απόκλιση από το άθροισμα των θλιπτικών αξονικών δυνάμεων. Η μέγιστη επιτρεπτή απόκλιση είναι στο 3%. Παρόλα αυτά με τον προγραμματισμό του βήματος στα 0,1 χιλιοστόμετρα η απόκλιση δεν ξεπερνάει το 0,3%, δηλαδή το 1/10 της μέγιστης επιτρεπτής.

Ο “πίνακας” με τους βοηθητικούς υπολογισμούς δίνεται για τη διευκόλυνση της κατανόησης της εκάστοτε γεωμετρίας (στον οπλισμό ή στα αγκύρια) από το χρήστη του Προγράμματος.

Όμοια με το Σημείο 0 του ισχυρού άξονα, αν το πρόσημο του ουδέτερου άξονα έχει αρνητικό πρόσημο για κάποια συγκεκριμένη γεωμετρία, αυτό σημαίνει πως ο ουδέτερος άξονας έχει ξεπεράσει σε πλάτος το μέσον της διατομής.

- ❖ **Σημείο 1:** όπου ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με τον ισχυρό άξονα z-z του υποστυλώματος.



**Σημείο 1**

**Σχήμα 3.16 :** Λεπτομέρεια Σημείου 1 κάτω από τη Μετωπική πλάκα

Ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με τον ασθενή άξονα z-z του υποστυλώματος και συνεπώς τα  $z_0$  και  $d_1$  είναι τα εξής:

$$z_0 = 0$$

$$d_1 = b_{tot} / 2$$

Το  $x_0$  πλέον είναι ίσο με:

$$x_0 = b_f / 2 + c$$

Για την αποφυγή πιθανών σφαλμάτων στον υπολογισμό του εμβαδού των επιμέρους τμημάτων της ενεργού επιφάνειας έδρασης αυτή λαμβάνεται πιο εύκολα ίση με:

$$A_{eff,1} = A_{eff,tot} / 2$$

Ο μοχλοβραχίονας που δημιουργεί το τμήμα της ενεργού αυτής επιφάνειας από τον κεντροβαρικό άξονα δίνεται από τον τύπο του Steiner και άρα:

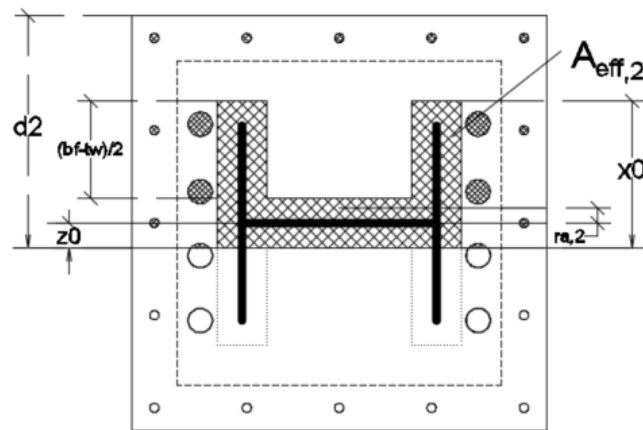
$$r_{a,1} = \{ (2*c + t_f)*(b_f/2 + c)^2 + (h - 2*c - 2*t_f)*((t_w/2 + c)^2 / 2) \} / A_{eff,1}$$

Το εμβαδό του σκυροδέματος καθώς ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με τον ασθενή άξονα z-z του υποστυλώματος είναι:

$$A_{c,1} = A_{c,tot} / 2$$

Η αντοχή της διατομής έναντι αξονικής δύναμης και η καμπτική ροπή που αναπτύσσει η διατομή για τις εκάστοτε αξονικές δυνάμεις, υπολογίζονται σύμφωνα με τις εξισώσεις (3.1) ή (3.2) και (3.3) ή (3.4) αντίστοιχα.

- ❖ **Σημείο 2:** όπου ο ουδέτερος άξονας διέρχεται από την ακμή της ενεργού επιφάνειας παρά τον κορμό της σιδηροδοκού.



Σημείο 2

Σχήμα 3.17 : Λεπτομέρεια Σημείου 2 κάτω από τη Μετωπική πλάκα

Ο ουδέτερος άξονας διέρχεται από την ακμή της ενεργού επιφάνειας παρά τον κορμό της σιδηροδοκού όπως απεικονίζεται και στο Σχ. 3.17. Επομένως, οι τιμές  $z_0$  και  $d_2$  υπολογίζονται σύμφωνα με τους ακόλουθους τύπους:

$$z_0 = b_{tot} / 2 - d_2$$

$$d_2 = (b_{tot} + t_w) / 2 + c$$

Στο Πρόγραμμα η τιμή  $z_0$  του ουδέτερου άξονα έχει αρνητικό πρόσημο. Όπως εξηγήθηκε στα Σημεία 0 του ισχυρού και του ασθενή άξονα ο ουδέτερος άξονας έχει ξεπεράσει το μέσον της διατομής. Φαίνεται άλλωστε και στο υπερκείμενο σχήμα.

Το  $x_0$  είναι ίσο με:

$$x_0 = \frac{bf + tw}{2} + 2*c$$

Το  $A_{eff,2}$  ισούται με:

$$A_{eff,2} = 2*\frac{bf - tw}{2} * (t_f + 2*c) + (h + 2*c) * (t_w + 2*c)$$

Κατά συνέπεια το  $r_{a,2}$  ισούται με:

$$r_{a,2} = \left\{ 2*\frac{bf - tw}{2}*(t_f + 2*c) * \left( c + \frac{bf + tw}{4} \right) \right\} / A_{eff,2}$$

**ΥΠΕΝΘΥΜΙΣΗ:** Όλοι οι μοχλοβραχίονες καθώς και ο μοχλοβραχίονας της ενεργού επιφάνειας έδρασης υπολογίζονται ως προς το κέντρο βάρους της διατομής.

Το εμβαδό του σκυροδέματος  $A_{c,2}$  υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$A_{c,2} = h_{total} * d_2 - A_{s,total,y} - n_{s,anchor,y} * A_{s,anchor,bore} - A_{eff,2}$$

Ακριβώς όπως και στα υπόλοιπα σημεία των διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης, η αντοχή της διατομής έναντι αξονικής δύναμης και η καμπτική ροπή που αναπτύσσει η διατομή για τις εκάστοτε αξονικές δυνάμεις, υπολογίζονται σύμφωνα με τις εξισώσεις (3.1) ή (3.2) και (3.3) ή (3.4) αντίστοιχα.

❖ **Σημείο 3: όπου αναπτύσσεται μόνο αξονική θλιπτική δύναμη  $N_{Rd,compression}$  ( $M_{Rd,3}=0$ ).**

Η συνολική θλιπτική δύναμη της διατομής δεν εξαρτάται από τον άξονα τον οποίο μελετάω, με αποτέλεσμα να είναι ίδια τόσο στον ισχυρό όσο και στον ασθενή άξονα. Οι τιμές και ο τρόπος εύρεσης της αντοχής είναι κοινά με την § 3.2.3.2.

❖ **Σημείο 4: όπου αναπτύσσεται μόνο αξονική εφελκυστική δύναμη  $N_{Rd,tension}$  ( $M_{Rd,4}=0$ ).**

Το ίδιο ισχύει και με την αντοχή της διατομής έναντι καθαρού εφελκυσμού. Ο υπολογισμός της αντοχής της διατομής έναντι αξονικής δύναμης και καμπτικής ροπής αναλύεται εκτενώς στο Σημείο 4 της § 3.2.3.2.

### 3.2.4 Έλεγχοι Δεδομένων

Κατά τη διάρκεια της εισαγωγής των δεδομένων στο υπολογιστικό μοντέλο θα πρέπει να αποφευχθεί η άστοχη επιλογή τους. Μία τέτοια άστοχη επιλογή, όπως για παράδειγμα η αλλαγή της σιδηροδοκού χωρίς την αλλαγή της μετωπικής πλάκας, θα συντελούσε στην απόδοση λανθασμένων αποτελεσμάτων και συνεπώς μη έγκυρων αντοχών, διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης και μηχανισμών αστοχίας.

Για την αποφυγή τέτοιων λαθών και την άρτια λειτουργία του υπολογιστικού μοντέλου / *Excel*, γίνονται ορισμένοι έλεγχοι εντός του προγράμματος.

**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:** Αν κάποιος έλεγχος δεν ικανοποιείται, δεν σημαίνει πως το πρόγραμμα δεν θα λειτουργήσει σωστά. Απλά οι έλεγχοι περιορίζουν το χρήστη από το να χρησιμοποιήσει αυθαίρετες τιμές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το πάχος της μετωπικής πλάκας, όπου ο χρήστης μπορεί να επιθυμεί να έχει μετωπική πλάκα πολύ μεγάλη. Οι τιμές θα είναι σωστές σύμφωνα με τα δεδομένα που επέλεξε, όμως η επιλογή του πάχους θα είναι αυθαίρετη.

#### ❖ Έλεγχος 1: Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά Σιδηροδοκού και Διατομής

Ο ακόλουθος έλεγχος γίνεται έτσι ώστε ο χρήστης να γνωρίζει το πώς θα συμπεριφερθεί το υποστύλωμα το οποίο μελετά, σύμφωνα με τα δεδομένα τα οποία επέλεξε.

Το υποστύλωμα θεωρείται και υπολογίζεται ως σύμμικτο, εάν για το λόγο της πλαστικής αξονικής αντοχής της σιδηροδοκού προς την πλαστική αξονική αντοχή όλης της διατομής ισχύει:

$$0,2 \leq \delta = \frac{(A_a * f_{yd})}{(N_{pl,Rd})} \leq 0,9 \quad (7.35)$$

Εάν  $\delta < 0,2$  τότε το υποστύλωμα θεωρείται ότι αποτελείται από οπλισμένο σκυρόδεμα και υπολογίζεται σύμφωνα με τον ισχύοντα Κανονισμό Κατασκευών από σκυρόδεμα.

Εάν  $\delta > 0,9$  τότε το υποστύλωμα θεωρείται ότι αποτελείται από δομικό χάλυβα και υπολογίζεται σύμφωνα με τον ισχύοντα Κανονισμό Σιδηρών Κατασκευών.

**ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:** Στο υπολογιστικό μοντέλο χρησιμοποιείται η καθαρή θλιπτική δύναμη του υποστυλώματος σε τυχαία διατομή του. Πρέπει να τονιστεί πως η τιμή της πλαστικής αξονικής αντοχής δεν υπολογίζεται σε διατομή κάτω από τη μετωπική πλάκα.

### ❖ Έλεγχος 2: Πάχος Μετωπικής Πλάκας

Το πάχος της μετωπικής πλάκας όπως θα γίνει γνωστό και στο κεφάλαιο των αποτελεσμάτων, έχει ιδιαίτερη σημασία στην αντοχή της έδρασης του συμμίκτου υποστυλώματος. Παρόλα αυτά, υπάρχουν και κάποιοι περιορισμοί στην επιλογή του πάχους της πλάκας, θεωρητικοί αλλά και πρακτικοί.

Το πάχος των πελμάτων της σιδηροδοκού δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το πάχος της μετωπικής πλάκας. Πρέπει δηλαδή  $t_p \geq t_f$ .

Επίσης, το πάχος της μετωπικής πλάκας δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από 120mm, καθώς πρακτικά δεν παρασκευάζονται ελάσματα τα οποία να έχουν μεγαλύτερο πάχος από το προαναφερθέν. Πρέπει δηλαδή  $t_p \leq 120$  mm.

### ❖ Έλεγχος 3: Διαμήκης Οπλισμός

Ο έλεγχος αυτός γίνεται για την αποφυγή εισαγωγής περισσότερου ή λιγότερου οπλισμού από αυτόν που ορίζουν τα επιτρεπτά όρια.

Ελάχιστο ποσοστό διαμήκους οπλισμού σε υποστυλώματα από εγκιβωτισμένες σιδηροδοκούς

$$\min \rho = A_s / A_c = 0,3\%,$$

ενώ δεν χρειάζεται συνήθως διαμήκης οπλισμός σε υποστυλώματα από γεμισμένες κοίλες διατομές, εκτός από τους προαναφερθέντες λόγους αύξησης της αντοχής στην περίπτωση πυρκαγιάς.

Μέγιστο ποσοστό διαμήκους οπλισμού που επιτρέπεται να χρησιμοποιείται στους υπολογισμούς αντοχής:

$$\max \rho = A_s / A_c = 6\%.$$

Σε περίπτωση λανθασμένων ελέγχων η αύξηση του ποσοστού του διαμήκους οπλισμού επιτυγχάνεται είτε με αύξηση του αριθμού των ράβδων / αναμονών, είτε με την αύξηση της διαμέτρου των ράβδων. Αντίθετα, η μείωση του ποσοστού επιτυγχάνεται είτε με μείωση του αριθμού των αναμονών είτε με την μείωση της διαμέτρου των ράβδων.

Επίσης, ένας ακόμη έλεγχος πραγματοποιείται έτσι ώστε ο χρήστης να προλάβει την πολύ κοντινή τοποθέτηση των ράβδων οπλισμού. Για τις αποστάσεις μεταξύ των οπλισμών μπορούν επίσης να

εφαρμοσθούν οι σχετικές διατάξεις του ελληνικού κανονισμού σκυροδέματος. Πιο συγκεκριμένα, η καθαρή ελάχιστη απόσταση παράλληλων οπλισμών εκτός των περιοχών ενώσεων, είναι ίση με τη μεγαλύτερη διάμετρο των ράβδων ή 20 mm.

Συνεπώς γίνεται ο έλεγχος:

$$\min d_{\text{reinforcement},x,y} = \min\{\text{Μέγιστη διάμετρος ράβδων}, 20 \text{ mm}\}$$

#### ❖ Έλεγχος 4: Επικαλύψεις Οπλισμού

Για τις ελάχιστες τιμές επικάλυψης μπορούν να εφαρμοσθούν οι σχετικές διατάξεις του Ελληνικού Κανονισμού Σκυροδέματος. Πιο συγκεκριμένα, η ονομαστική τιμή της επικάλυψης είναι ίση 25 έως 50 mm αναλόγως των συνθηκών διαβρωτικότητας του περιβάλλοντος.

Συνεπώς πρέπει:

$$c \in (25\text{mm}, 50\text{mm})$$

#### ❖ Έλεγχος 5: Ύψος Θεμελίου

Το ύψος του θεμελίου δεν χρησιμοποιείται κάπου εντός του υπολογιστικού μοντέλου. Ο λόγος για τον οποίο γίνεται ο έλεγχος για το ύψος του θεμελίου είναι έτσι ώστε ο χρήστης κατά την μελέτη της μετωπικής πλάκας και πιο γενικά της έδρασης του υποστυλώματος, να έχει μία ολοκληρωμένη εικόνα για τη μορφή και των διαστάσεων του θεμελίου.

Το ύψος αυτού προκύπτει από τις διαστάσεις της μετωπικής πλάκας και συνεπώς ο χρήστης πρέπει να έχει πλήρη επίγνωση του ύψους που θα πρέπει να έχει το θεμέλιο όταν θα διαστασιολογεί τη μετωπική πλάκα.

Το ύψος γενικά του θεμελίου πρέπει να είναι μεγαλύτερο από:

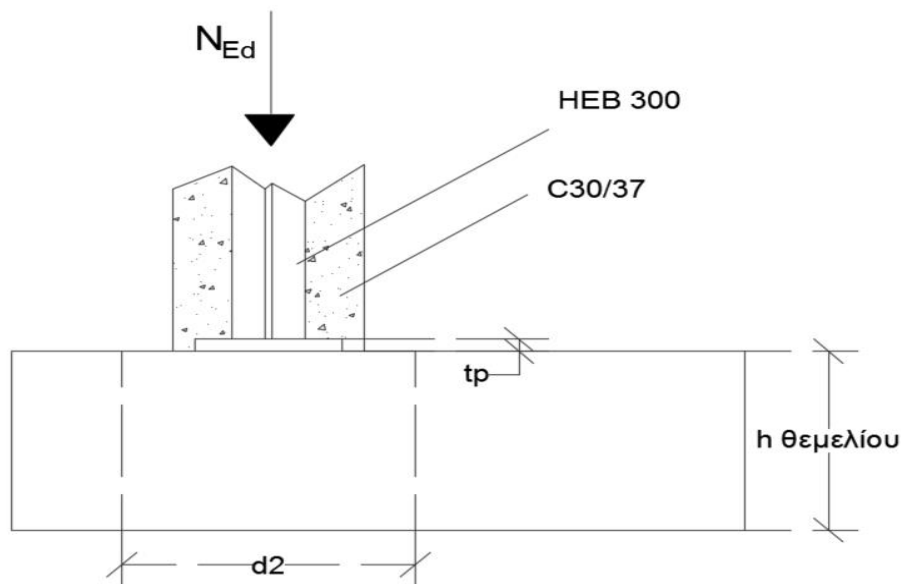
$$h_{\text{base}} \geq \max b_2 - b_1 (= 3b_1 - b_1) = b_1$$

και

$$h_{\text{base}} \geq \max d_2 - d_1 (= 3d_1 - d_1) = d_1$$

Ο έλεγχος αυτός μπορεί να γίνει εύκολα κατανοητός μέσω του ακόλουθου σχήματος (Σχ. 3.18) αλλά και με το Σχ. 3.5 της Παραγράφου 3.2.2.2 .





Σχήμα 3.18: Πλάγια Όψη Θεμελίου

#### ❖ Έλεγχος 6: Σχετικές Διαστάσεις Υποστυλώματος - Μετωπικής Πλάκας

Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται για την αποφυγή λαθών ελλιπούς προσοχής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η διάσταση της πλάκας κατά τον Άξονα x-x, η οποία πρέπει να είναι μικρότερη από τη διάσταση του υποστυλώματος κατά τον Άξονα x-x. Ομοίως, πρέπει η διάσταση της πλάκας κατά τον Άξονα y-y να είναι μικρότερη από τη διάσταση του υποστυλώματος κατά τον Άξονα y-y.

Πρέπει δηλαδή να ισχύουν οι ακόλουθες ανισότητες:

- $h_{tot} > b_1$
- $b_{tot} > d_1$

Σε περίπτωση που ο έλεγχος αποδειχθεί λανθασμένος προτείνεται και η επίλυση αυτού. Σε περίπτωση που οι σχετικές διαστάσεις υποστυλώματος και μετωπικής πλάκας κατά τον Άξονα x-x είναι λάθος πρέπει να αυξηθεί η τιμή  $h_{tot}$  ή να μειωθεί η τιμή  $b_1$ . Ομοίως, σε περίπτωση που οι σχετικές διαστάσεις υποστυλώματος και μετωπικής πλάκας κατά τον Άξονα y-y είναι λάθος πρέπει να αυξηθεί η τιμή  $b_{tot}$  ή να μειωθεί η τιμή  $d_1$ .

### ❖ Έλεγχος 7: Σχετικές Διαστάσεις Μετωπικής Πλάκας – Σιδηροδοκού

Στον έλεγχο αυτό βεβαιώνεται ο χρήστης πως το ύψος της διατομής της σιδηροδοκού είναι μικρότερο από τη διάσταση της πλάκας κατά τον Άξονα x-x. Ομοίως, ότι το ύψος της διατομής της σιδηροδοκού είναι μικρότερο από τη διάσταση της πλάκας κατά τον Άξονα y-y. Έτσι αποφεύγεται η περίπτωση όπου η σιδηροδοκός μπορεί να έχει κάποια διάσταση μεγαλύτερη από αυτή την αντίστοιχη της μετωπικής πλάκας.

Πρέπει δηλαδή να ισχύουν οι ακόλουθες ανισότητες:

- $b_1 > h$
- $d_1 > b_f$

Σε περίπτωση που οι σχετικές διαστάσεις υποστρώματος και μετωπικής πλάκας κατά τον Άξονα x-x είναι λάθος προτείνεται η αύξηση της τιμής  $b_1$  ή η μείωση της τιμής  $h$ . Σε περίπτωση που οι σχετικές διαστάσεις υποστρώματος και μετωπικής πλάκας κατά τον Άξονα x-x είναι λάθος προτείνεται η αύξηση της τιμής  $d_1$  ή η μείωση της τιμής  $b_f$ .

### ❖ Έλεγχος 8: Μέγιστη Απόσταση μεταξύ των Αγκυρίων / Κατακόρυφος Άξονας

Η απόσταση των δύο ακραίων αγκυρίων κατά τον κατακόρυφο άξονα δεν θα πρέπει να ξεπερνάει τη διάσταση της μετωπικής πλάκας κατά τον Άξονα y-y. Συνεπώς, από τη διάσταση της μετωπικής πλάκας κατά τον Άξονα y-y αφαιρούμε τη διάμετρο των οπών των αγκυρίων ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία μίας ανοιχτής οπής.

Ο έλεγχος που πραγματοποιείται είναι ο ακόλουθος:

$$w_{\text{anchors}} < d_1 - d_{\text{anchor,bore}}$$

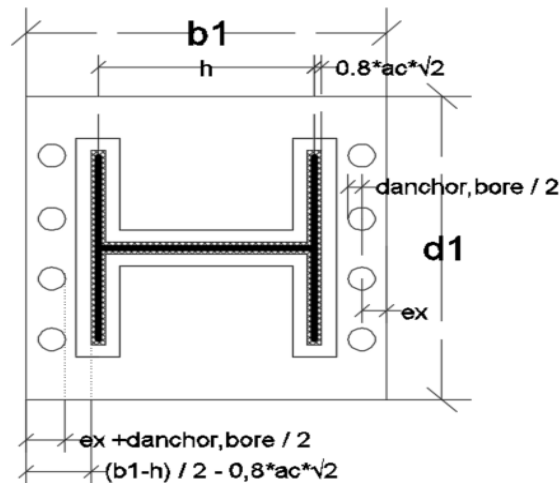
Σε περίπτωση που ο έλεγχος δεν εκπληρούται προτείνεται η αύξηση της διάστασης της μετωπικής πλάκας κατά τον Άξονα y-y ή η μείωση της απόστασης των ακραίων αγκυρίων κατά τον κατακόρυφο άξονα. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην αύξηση του  $d_1$ , ώστε να μην ξεπεράσει την τιμή  $h_{\text{tot}}$ .

❖ Έλεγχος 9: Απόσταση αγκυρίων από τη Σιδηροδοκό και την Άκρη της μετωπικής πλάκας / Οριζόντιος Άξονας

Θα πρέπει να βεβαιωθεί ο χρήστης πως τα αγκύρια δεν βρίσκονται πολύ κοντά στη σιδηροδοκό, για να αποφευχθεί η άστοχη επιλογή αποστάσεων. Συνεπώς, θα αποφευχθεί και μία θεωρητική, γεωμετρική ατέλεια που πρακτικά θα σήμαινε την πιθανή διάνοιξη οπής πάνω ή πολύ κοντά στην συγκόλληση.

Η ανίσωση που πρέπει να ικανοποιείται για την άρτια γεωμετρία της διατομής είναι η ακόλουθη και η εξήγηση της γίνεται κατανοητή από το ακόλουθο Σχ. 3.19:

$$e_x + (d_{\text{anchor,bore}}/2) < (b_1 - h) / 2 - (0,8 * a_c * \sqrt{2})$$



Σχήμα 3.19: Λεπτομέρεια Αποστάσεων Στοιχείων Μετωπικής Πλάκας

Σε περίπτωση που η απόσταση των αγκυρίων από τη σιδηροδοκό είναι λάθος πρέπει να μειωθεί η τιμή  $e_x$ .

Επίσης, αν ο χρήστης επιθυμεί να μεγαλώσει τη διατομή της σιδηροδοκού χωρίς να αλλάξει τις διαστάσεις της μετωπικής πλάκας πρέπει να βεβαιωθεί πως τα αγκύρια δεν έρχονται πολύ κοντά στην άκρη της μετωπικής πλάκας, ώστε να μην δημιουργηθεί ανοιχτή οπή. Συνεπώς θα πρέπει να ικανοποιείται η ακόλουθη ανίσωση:

$$e_x > d_{\text{anchor,bore}} / 2$$

### ❖ Έλεγχος 10: Αριθμός αγκυρίων στον κατακόρυφο άξονα

Το υπολογιστικό μοντέλο δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να βάλει (εφόσον ο ίδιος επιθυμεί) ένα αγκύριο στην κάθε πλευρά της σιδηροδοκού (εκατέρωθεν των πελμάτων). Όμως, για να λειτουργήσει το πρόγραμμα άρτια θα πρέπει να πληρούνται κάποιες προϋποθέσεις.

A) Αν ο χρήστης επιλέξει 1 αγκύριο τότε πρέπει η τιμή του “  $w_{anchors}$  ” να είναι ίση με το ‘μηδέν’.

B) Αν ο χρήστης επιλέξει περισσότερα από 1 αγκύρια τότε πρέπει να βεβαιωθεί πως η τιμή του “  $w_{anchors}$  ” δεν είναι μηδενική και πως ικανοποιεί τους άνωθεν σχετικούς ελέγχους.

Επίσης, όπως και με τις αναμονές έτσι και για τα αγκύρια υπάρχει μία ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους. Η ελάχιστη απόσταση των αγκυρίων στον κατακόρυφο άξονα δεν μπορεί να είναι μικρότερη από:

$$\min d_{anchor,y} = \min\{\text{Μέγιστη διάμετρος αγκυρίων}, 20 \text{ mm}\}$$

Σε περίπτωση που η απόσταση μεταξύ των αγκυρίων είναι λάθος, μειώστε τον αριθμό των αγκυρίων ή αυξήστε την τιμή του “  $w_{anchors}$  ” (όσο το επιτρέπουν οι υπόλοιποι έλεγχοι).

### ❖ Έλεγχος 11: Απόσταση οπλισμού από τη μετωπική πλάκα

Θα πρέπει να βεβαιωθεί ο χρήστης με την εκάστοτε επιλογή της γεωμετρίας της διατομής, πως ο οπλισμός δεν "πέφτει" πάνω στη μετωπική πλάκα.

Για τους δύο άξονες λοιπόν, οριζόντιο και κατακόρυφο, θα πρέπει να ισχύουν οι ακόλουθες ανισότητες αντίστοιχα:

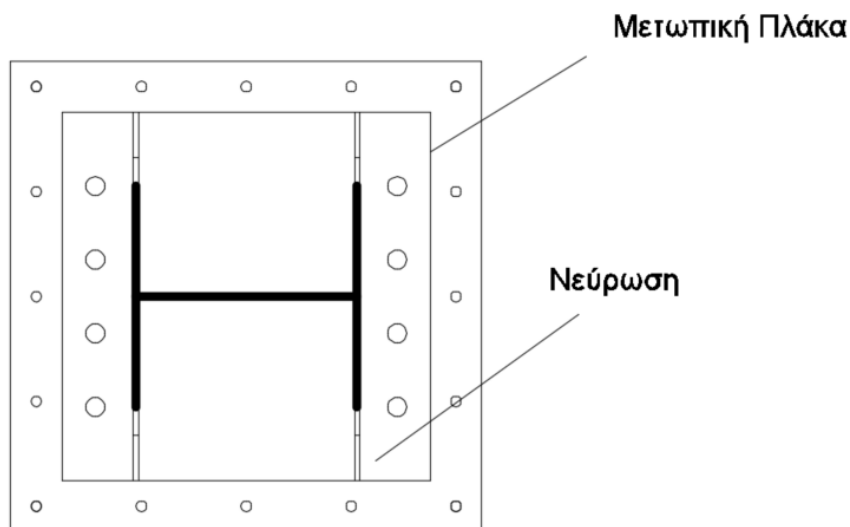
$$(h_{tot} - b_1) / 2 > c + \Phi / 2$$

$$(b_{tot} - b_1) / 2 > c + \Phi / 2$$

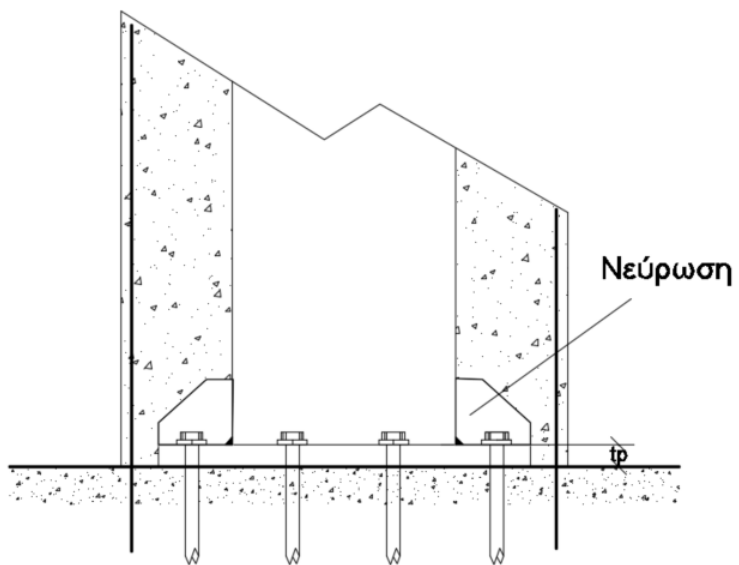
Σε περίπτωση που οι έλεγχοι προκύψουν λάθος, τότε: α) αυξήστε τις διαστάσεις του θεμελίου ή μειώστε τις διαστάσεις της μετωπικής πλάκας αντίστοιχα για κάθε άξονα, β) μειώστε την επικάλυψη του οπλισμού  $c$  (με την προϋπόθεση ότι θα συνεχίσουν να πληρούνται οι σχετικές διατάξεις του Ελληνικού Κανονισμού Σκυροδέματος, γ) μειώστε τη διάμετρο του οπλισμού. Οι λύσεις αυτές δεν είναι απαραίτητο να εφαρμοσθούν και οι τρεις ταυτόχρονα, καθώς π.χ. με την απλή αύξηση των διαστάσεων του υποστυλώματος ο έλεγχος θα προκύψει σωστός.

#### ❖ Έλεγχος 12: Τοποθέτηση νευρώσεων

Εάν η απόσταση μεταξύ των ακραίων αγκυρίων είναι μεγαλύτερη από το πλάτος του πέλματος της σιδηροδοκού (δηλαδή  $w_{anchors} > b_f$ ), τότε θα πρέπει να τοποθετούνται νευρώσεις στις άκρες των πελμάτων, παράλληλες με αυτά όπως φαίνεται και στα Σχήματα 3.20 & 3.21. Αντιθέτως, αν η απόσταση  $w_{anchors}$  είναι μικρότερη από το πλάτος του πέλματος της σιδηροδοκού δεν απαιτείται η τοποθέτηση των νευρώσεων.



Σχήμα 3.20: Κάτοψη Διατομής με Νευρώσεις



**Σχήμα 3.21: Τομή Διατομής με Νευρώσεις**



## **4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

### **4.1 Εισαγωγή**

Η παρούσα διπλωματική εργασία και συγκεκριμένα το πρόγραμμα που φτιάχτηκε, υλοποιήθηκαν ώστε ο χρήστης επιλέγοντας την γεωμετρία της διατομής της έδρασης να γνωρίζει άμεσα την αντοχή της έδρασης, τόσο στον ισχυρό όσο και στον ασθενή άξονα. Αυτό επιτυγχάνεται με τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης στους 2 άξονες που παρέχει άμεσα το πρόγραμμα, πατώντας το κουμπί «Υπολογισμοί – Αποτελέσματα», όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω.

Όπως είναι επόμενο, καθώς τα αποτελέσματα δίνονται σε μορφή διαγραμμάτων, τα συμπεράσματα με τη σειρά τους θα προκύψουν από τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης αυτά. Στο κεφάλαιο αυτό παρατίθενται αποτελέσματα και διαγράμματα αλληλεπίδρασης.

### **4.2 Παραμετρική Διερεύνηση**

Στην παράγραφο αυτή παρατίθενται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης. Διενεργήθηκαν παραμετρικές διερευνήσεις, όπου όλα τα στοιχεία μίας διατομής διατηρούνται σταθερά εκτός από ένα. Έτσι, βλέπουμε την επιρροή που έχει η αλλαγή του μεταβλητού στοιχείου στην αντοχή της διατομής της έδρασης.



#### 4.2.1 Μεταβλητός Αριθμός Αγκυρίων

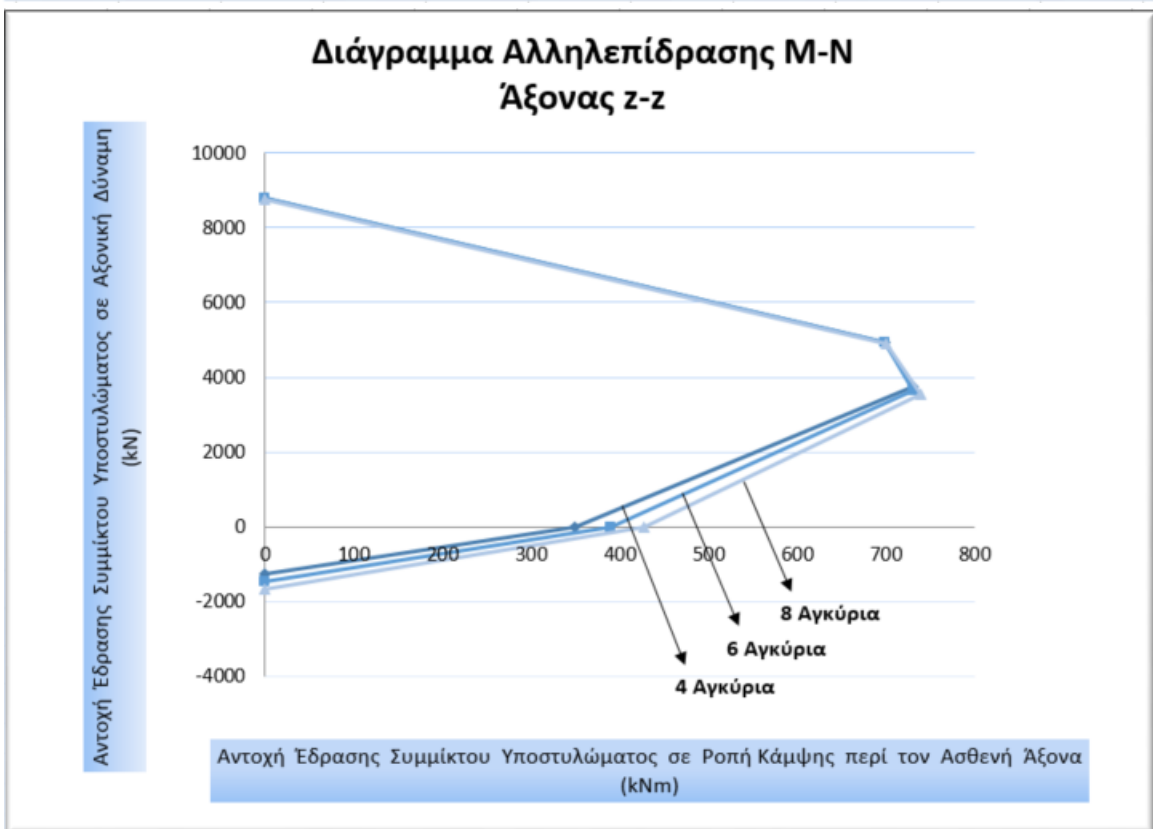
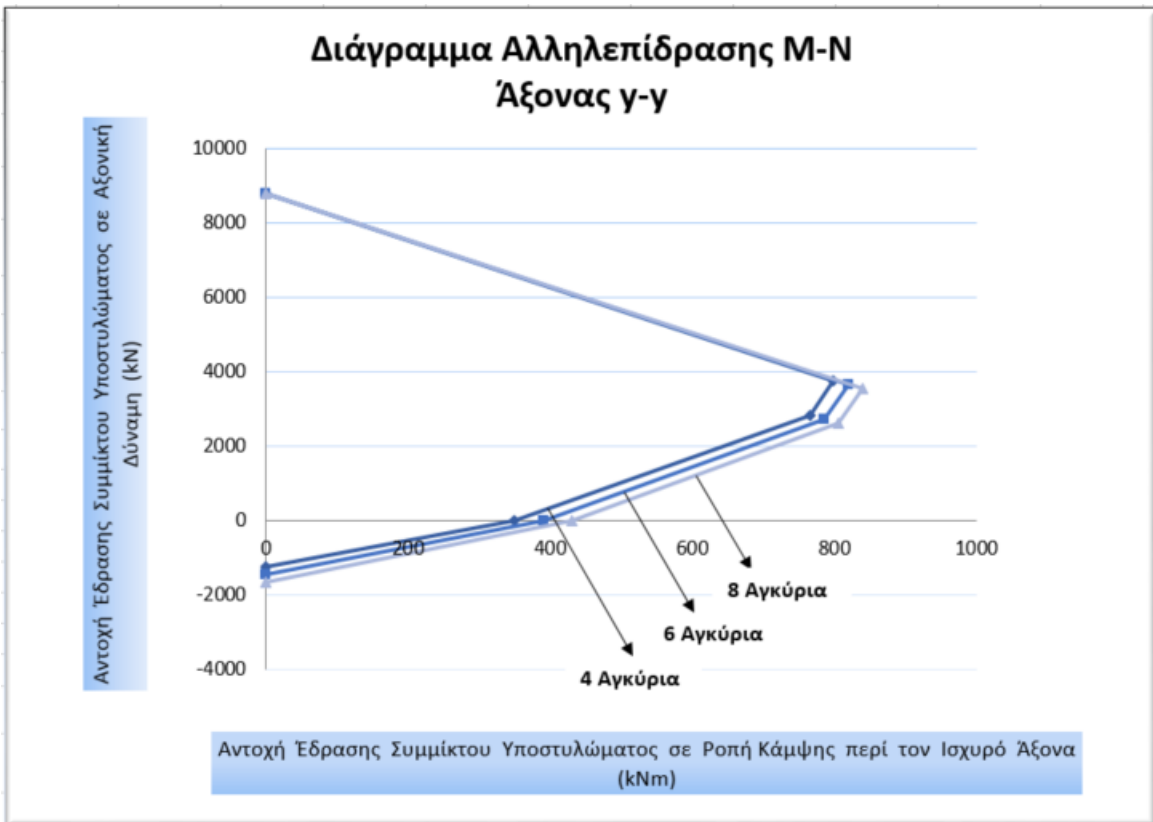
Στη διερεύνηση το μεταβλητό στοιχείο της διατομής είναι ο αριθμός των αγκυρίων και η διατομή έχει τα εξής στοιχεία:

- **HEB 300**
- **C20/25**
- **S355**
- $h_{\text{tot}} = 640 \text{ mm} / b_{\text{tot}} = 640 \text{ mm}$
- $b_1 = 500 \text{ mm} / d_1 = 500 \text{ mm}$
- $t_p = 30 \text{ mm}$
- Αριθμός Αγκυρίων = **ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΣ**
- Ποιότητα Αγκυρίων = **4.6**
- Διάμετρος οπλισμού = **14 mm**

#### Συμπέρασμα:

Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα που απεικονίζονται στην επόμενη σελίδα (Διαγρ. 4.1), η μεταβολή του συνολικού αριθμού των αγκυρίων, δηλαδή η μεταβολή του αριθμού των αγκυρίων στον κατακόρυφο άξονα δεν επηρεάζει τόσο το Σημείο 3 των δύο αξόνων, όπου αναπτύσσεται μόνο αξονική θλιπτική δύναμη στη διατομή της έδρασης. Αντιθέτως, επηρεάζει το Σημείο 4 όπου αναπτύσσεται μόνο αξονική εφελκυστική δύναμη και η αντοχή της έδρασης σε αξονική δύναμη από 1263kN (για 4 αγκύρια) γίνεται 1670kN (για 8 αγκύρια). Παρουσιάζεται επίσης, μία μικρή αύξηση της αντοχής της έδρασης σε καθαρή κάμψη από 349kNm (για 4 αγκύρια) στα 431kNm (για 8 αγκύρια) στον ισχυρό άξονα και για τον ασθενή άξονα αντίστοιχα από 349kNm στα 427kNm.

Στα Σημεία 1 και 2 των δύο αξόνων, παρατηρείται πως η αύξηση του αριθμού των αγκυρίων αυξάνει λίγο την αντοχή έναντι καθαρής καμπτικής ροπής, αλλά μειώνει λίγο την αντοχή έναντι αξονικής δύναμης.



**Διαγράμματα 4.1: Μεταβλητός Αριθμός Αγκυρίων**

#### 4.2.2 Μεταβλητή Ποιότητα Δομικού Χάλυβα

Στη διερεύνηση το μεταβλητό στοιχείο της διατομής είναι ο αριθμός των αγκυρίων και η διατομή έχει τα εξής στοιχεία:

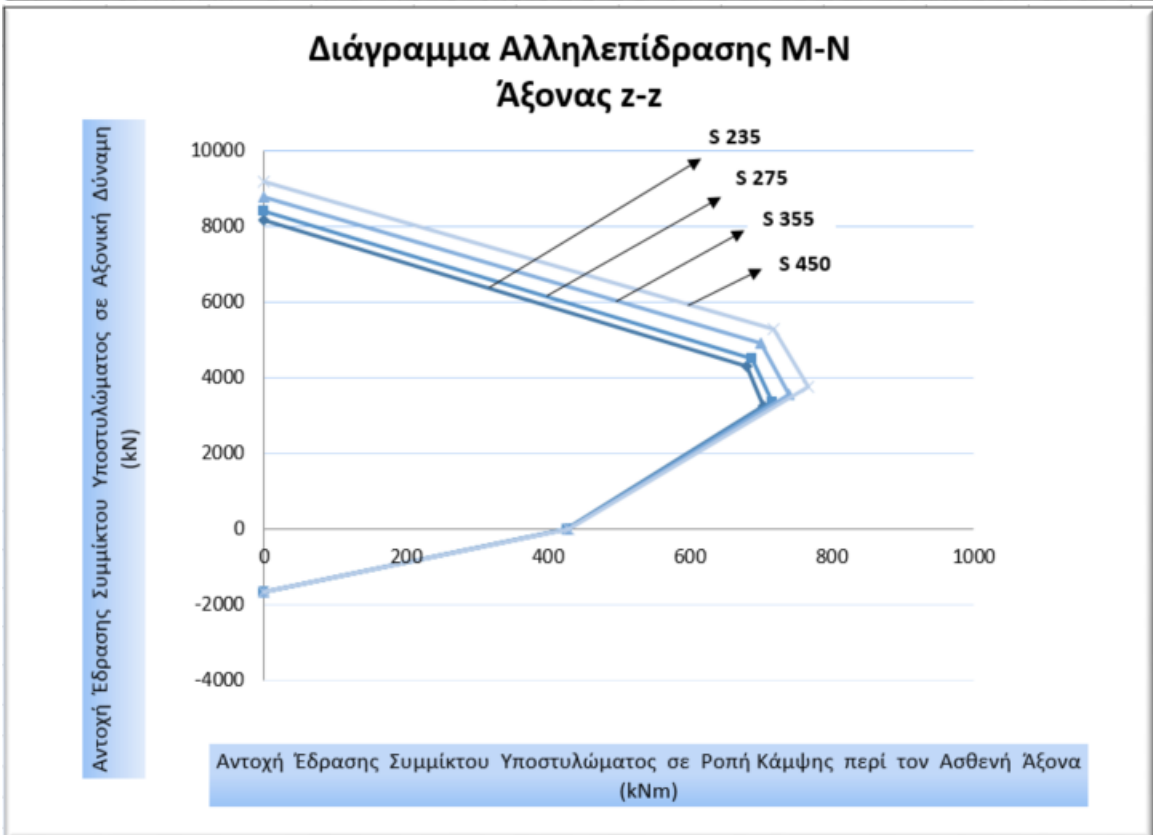
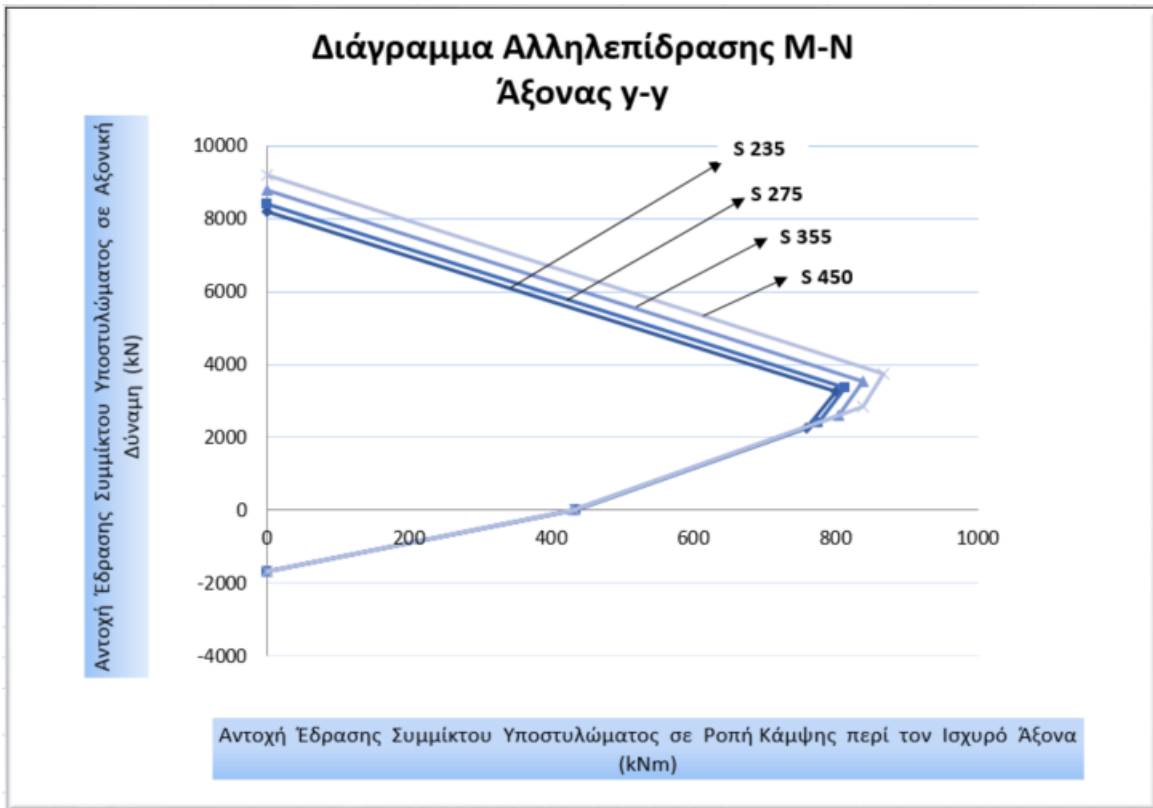
- **HEB 300**
- **C20/25**
- Ποιότητα Δομικού Χάλυβα = **ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ**
- $h_{\text{tot}} = 640 \text{ mm} / b_{\text{tot}} = 640 \text{ mm}$
- $b_1 = 500 \text{ mm} / d_1 = 500 \text{ mm}$
- $t_p = 30 \text{ mm}$
- Αριθμός Αγκυρίων = **8**
- Ποιότητα Αγκυρίων = **4.6**
- Διάμετρος οπλισμού = **14 mm**

##### Συμπέρασμα:

Στα Διαγράμματα 4.2 παρατηρείται πως η αύξηση της ποιότητας των σιδηροδοκών δεν επηρεάζει καθόλου την αντοχή της έδρασης σε καθαρή εφελκυστική δύναμη (όπως είναι λογικό καθώς στη διατομή της έδρασης δεν εμφανίζεται σιδηροδοκός και συνεπώς δεν παραλαμβάνει μέρος της δύναμης. Επίσης, επηρεάζει ελάχιστα την αντοχή έναντι καθαρής κάμψης και στους δύο άξονες. Αυτό συμπεραίνεται καθώς η απόκλιση των αντοχών για τις 4 ποιότητες είναι γύρω στα 2-4 kNm (για τη συγκεκριμένη γεωμετρία διατομής).

Παρόλα αυτά, η αύξηση της ποιότητας του δομικού χάλυβα αυξάνει την αντοχή της διατομής έναντι καθαρής θλιπτικής δύναμης στον οριζόντιο και στον κατακόρυφο άξονα. Η μεταβολή και στους δύο άξονες είναι κοινή και είναι η ακόλουθη: από 8174 kN (για S235) στα 9186 kN (για S450).

Η αύξηση της ποιότητας του δομικού χάλυβα αυξάνει την αντοχή της διατομής έναντι θλιπτικής δύναμης και έναντι καμπτικής ροπής και στους δύο άξονες.



Διαγράμματα 4.2: Μεταβλητή Ποιότητα Δομικού Χάλυβα

### 4.2.3 Μεταβλητό Πάχος Μετωπικής Πλάκας

Στη διερεύνηση το μεταβλητό στοιχείο της διατομής είναι ο αριθμός των αγκυρίων και η διατομή έχει τα εξής στοιχεία:

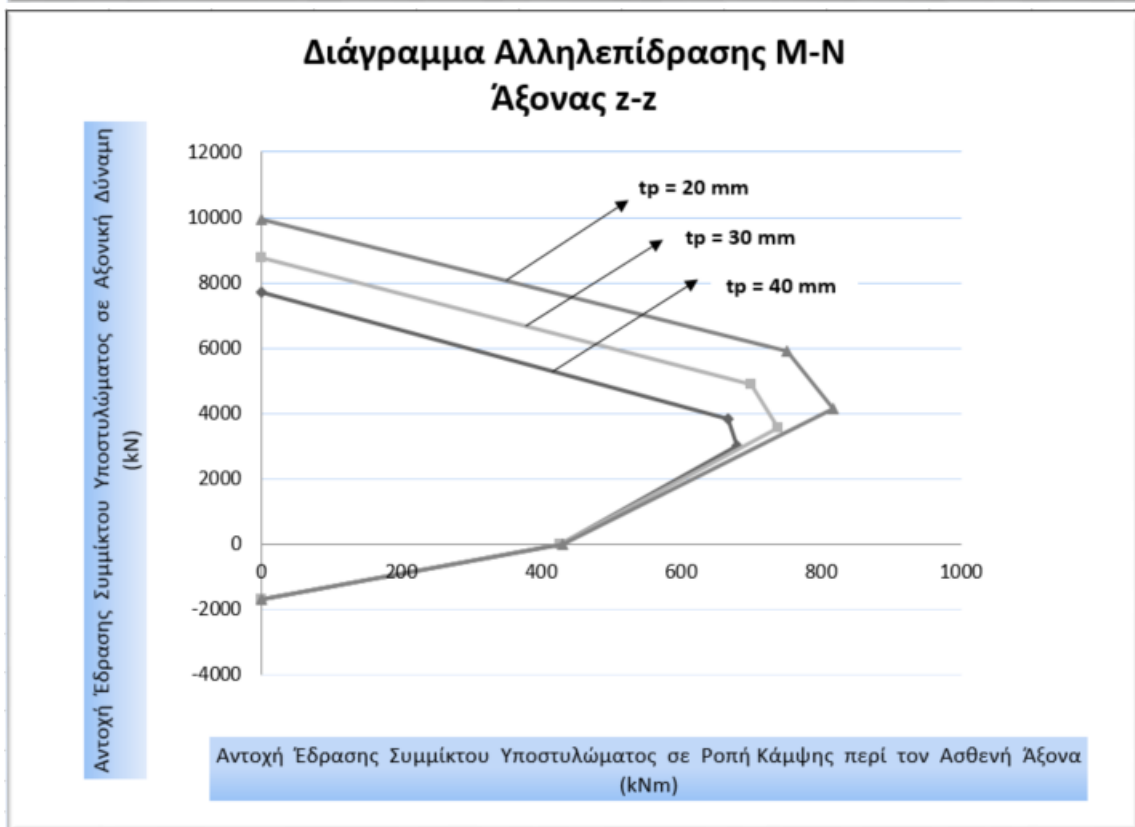
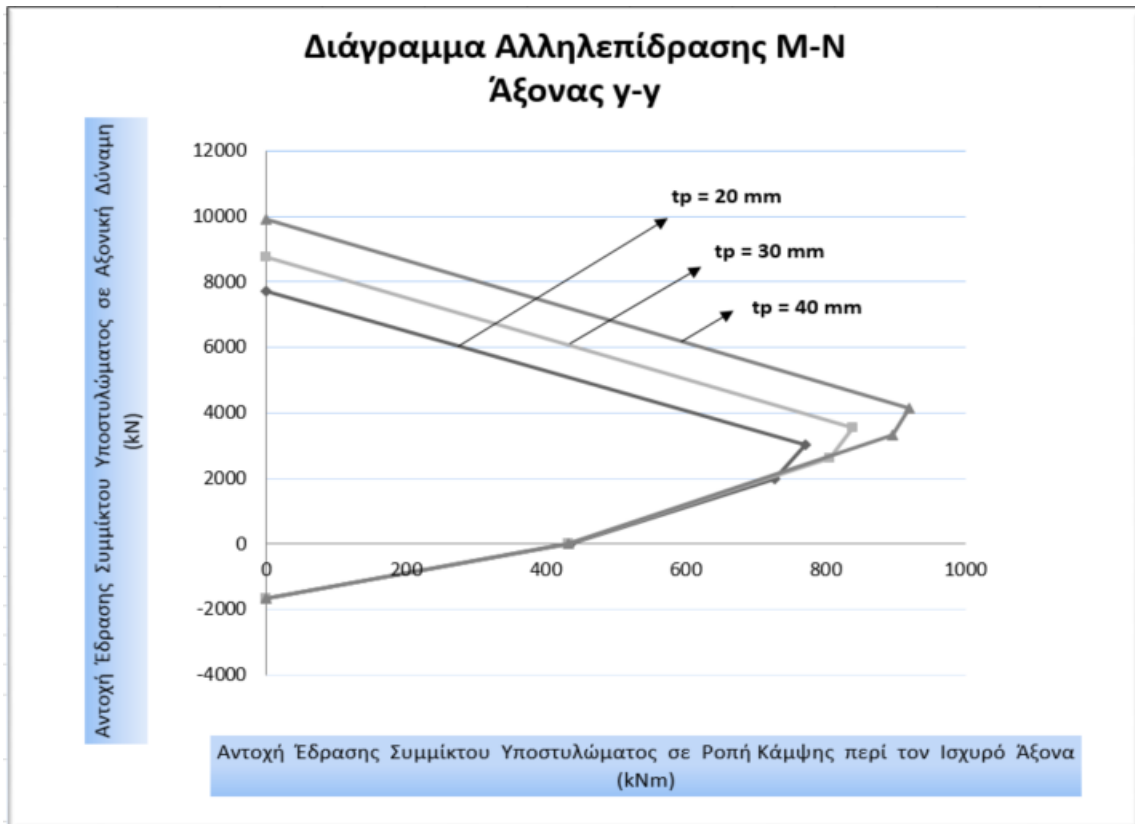
- **HEB 300**
- **C20/25**
- **S355**
- $h_{\text{tot}} = 640 \text{ mm} / b_{\text{tot}} = 640 \text{ mm}$
- $b_1 = 500 \text{ mm} / d_1 = 500 \text{ mm}$
- $t_p = \text{ΜΕΤΑΒΛΗΤΟ}$
- Αριθμός Αγκυρίων = **8**
- Ποιότητα Αγκυρίων = **4.6**
- Διάμετρος οπλισμού = **14 mm**

#### Συμπέρασμα:

Η μεταβολή του πάχους της μετωπικής πλάκας, όπως απεικονίζεται στα Διαγράμματα 4.3 δεν επηρεάζει καθόλου την αντοχή της διατομής έναντι καθαρής εφελκυστικής δύναμης, τόσο στον ισχυρό όσο και στον ασθενή άξονα, καθώς όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η αντοχή είναι ίδια σε αυτό το σημείο.

Αντιθέτως, η αύξηση του πάχους της πλάκας αυξάνει σημαντικά την αντοχή της διατομής έναντι καθαρής θλιπτικής αξονικής δύναμης. Η αύξηση αυτή γίνεται εμφανής και από τα αποτελέσματα η αντοχή της διατομής από 7721 kN (για  $t_p = 20 \text{ mm}$ ), γίνεται 8767 kN (για  $t_p = 30 \text{ mm}$ ) και 9929 kN (για  $t_p = 40 \text{ mm}$ ).

Τέλος, η αύξηση του πάχους της πλάκας αυξάνει σημαντικά την αντοχή της διατομής έναντι καθαρής θλιπτικής αξονικής δύναμης αλλά και έναντι αξονικής δύναμης και στους δύο άξονες.



Διαγράμματα 4.3: Μεταβλητό Πάχος Μετωπικής Πλάκας

#### 4.2.4 Μεταβλητή Διατομή Σιδηροδοκού

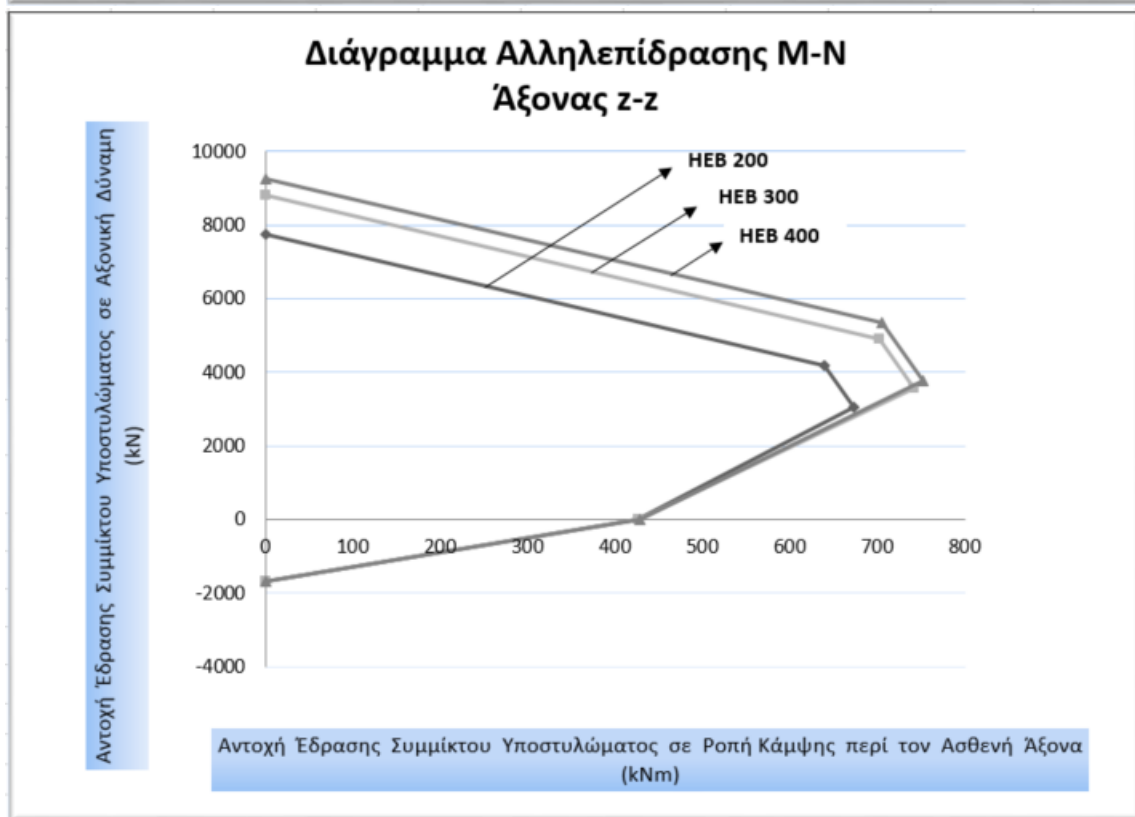
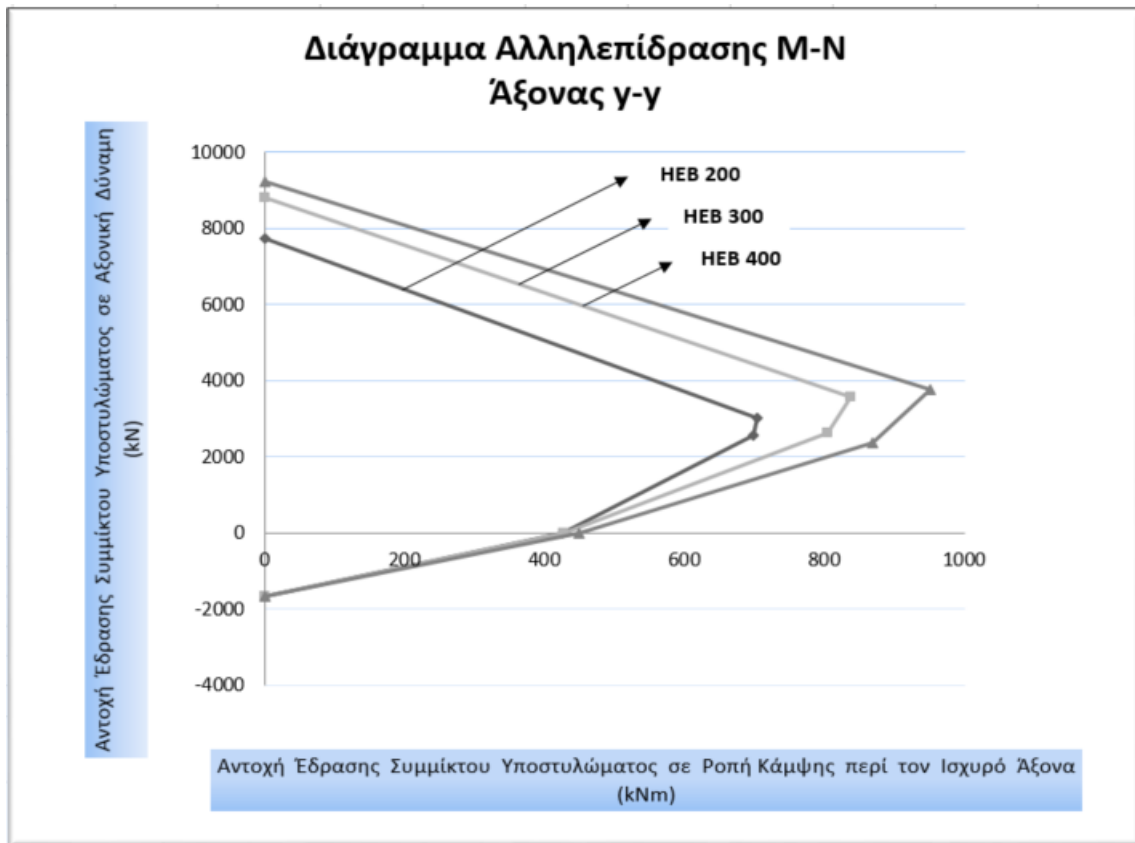
Στη διερεύνηση το μεταβλητό στοιχείο της διατομής είναι ο αριθμός των αγκυρίων και η διατομή έχει τα εξής στοιχεία:

- Διατομή Σιδηροδοκού = **ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ**
- **C20/25**
- **S355**
- $h_{\text{tot}} = 640 \text{ mm} / b_{\text{tot}} = 640 \text{ mm}$
- $b_1 = 520 \text{ mm} / d_1 = 520 \text{ mm}$
- $t_p = 30 \text{ mm}$
- Αριθμός Αγκυρίων = **8**
- Ποιότητα Αγκυρίων = **4.6**
- Διάμετρος οπλισμού = **14 mm**

#### Συμπέρασμα:

Όπως και με το μεταβλητό πάχος της πλάκας έτσι και με στην περίπτωση αυτή (μεταβλητή διατομή σιδηροδοκού) παρατηρείται πως δεν επηρεάζεται καθόλου η αντοχή της διατομής έναντι καθαρής εφελκυστικής δύναμης, τόσο στον ισχυρό όσο και στον ασθενή άξονα. (Διαγρ. 4.4) Όμως, η αντοχή της διατομής έναντι καθαρής θλιπτικής δύναμης αυξάνεται σημαντικά και αυτή η αύξηση είναι της τάξεως των 1500 kN. Για τη διατομή σιδηροδοκού HEB 200 έχουμε αντοχή της διατομής έναντι καθαρής θλιπτικής δύναμης 7740 kN ενώ για HEB 400 έχουμε αντοχή της διατομής έναντι καθαρής θλιπτικής δύναμης 9243 kN.

Επίσης, παρατηρείται πως αυξάνοντας τη διατομή της σιδηροδοκού επηρεάζεται ελάχιστα η αντοχή της διατομής έναντι καμπτικής ροπής. Επηρεάζονται όμως οι αντοχές των Σημείων 1 και 2 των δύο αξόνων με χαρακτηριστική αύξηση της καμπτικής ροπής (περίπου 250 kNm) του ισχυρού άξονα για το Σημείο 2, όπου ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με τον ισχυρό άξονα y-y της διατομής της έδρασης.



**Διαγράμματα 4.4: Μεταβλητή Διατομή Σιδηροδοκού**



#### 4.2.5 Μεταβλητή Διάμετρος Οπλισμού

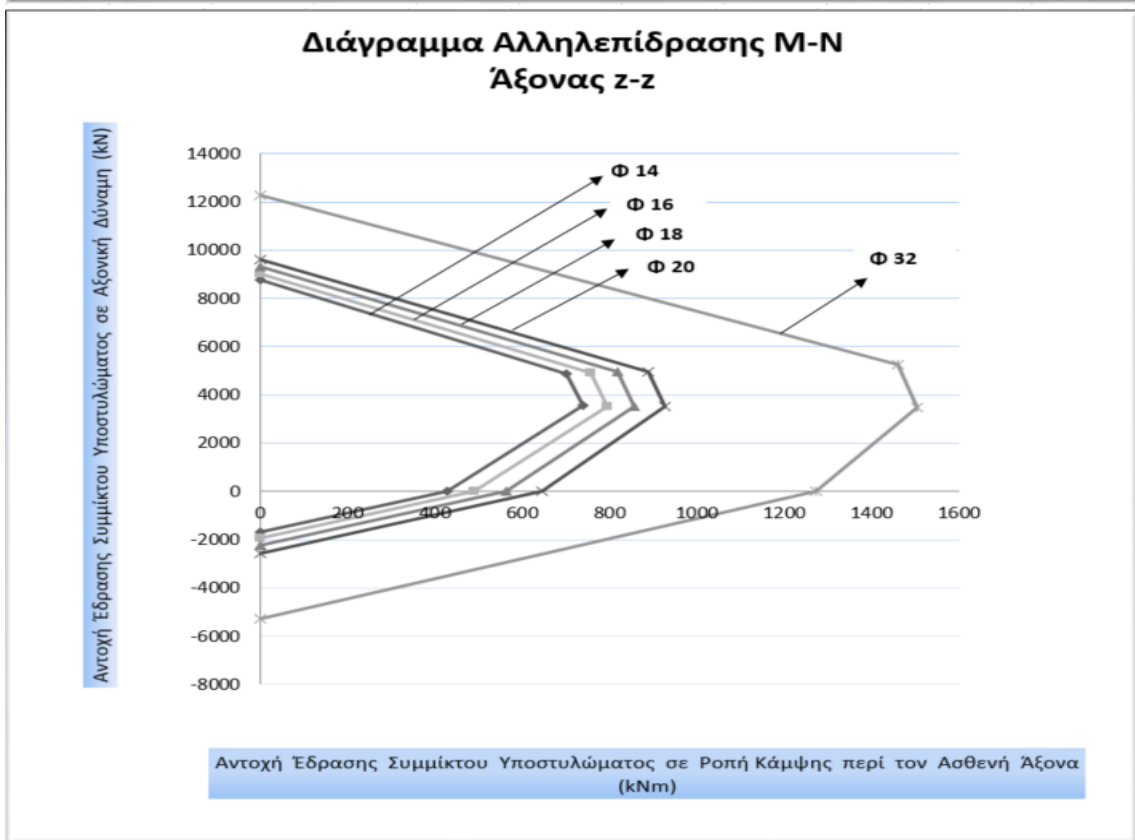
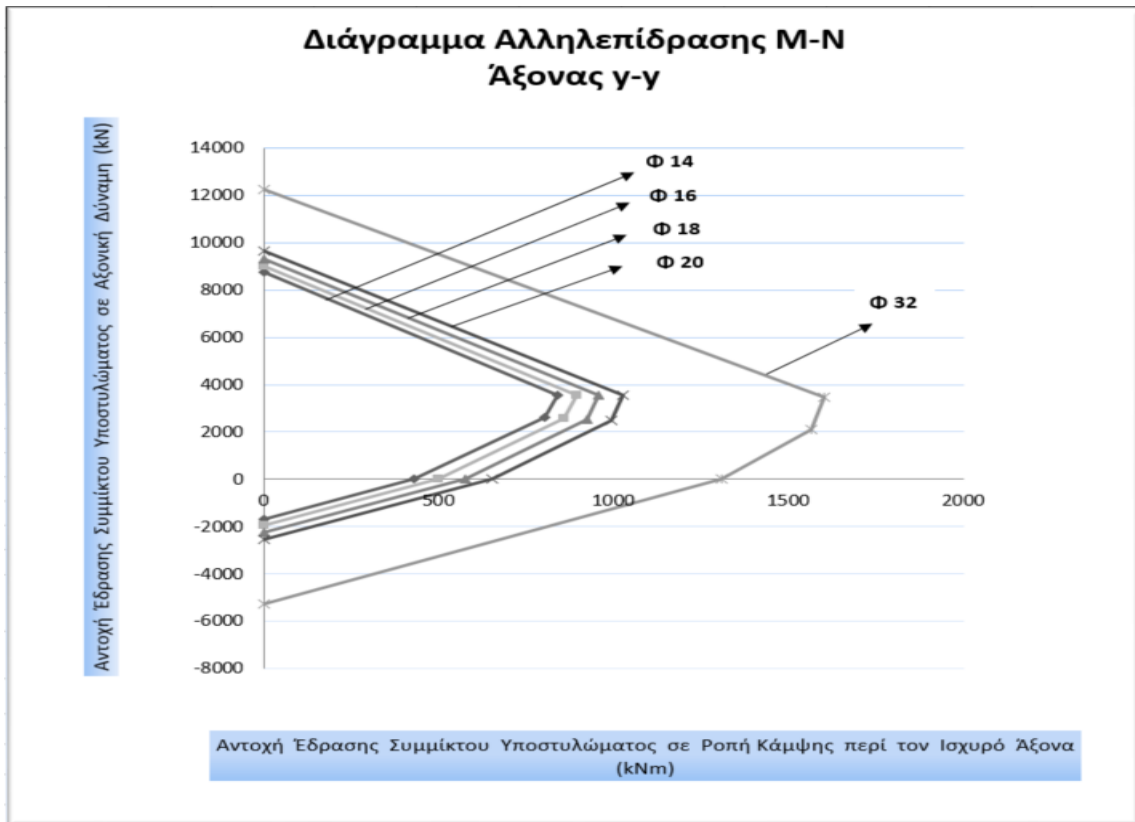
Στη διερεύνηση το μεταβλητό στοιχείο της διατομής είναι ο αριθμός των αγκυρίων και η διατομή έχει τα εξής στοιχεία:

- **HEB 300**
- **C20/25**
- **S355**
- $h_{\text{tot}} = 640 \text{ mm} / b_{\text{tot}} = 640 \text{ mm}$
- $b_1 = 500 \text{ mm} / d_1 = 500 \text{ mm}$
- $t_p = 30 \text{ mm}$
- Αριθμός Αγκυρίων = **8**
- Ποιότητα Αγκυρίων = **4.6**
- Διάμετρος οπλισμού = **ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ**

#### Συμπέρασμα:

Στη διερεύνηση αυτή αυτό που παρατηρείται έντονα, είναι πως η αύξηση του πάχους του διαμήκους οπλισμού αυξάνει όλες τις τιμές της αντοχής της έδρασης έναντι καθαρής εφελκυστικής και καθαρής θλιπτικής δύναμης. Επίσης, αυξάνει σημαντικά την αντοχή έναντι καμπτικής ροπής στα Σημεία 0, 1 και 2 και των δύο αξόνων.

Όπως απεικονίζεται στα Διαγράμματα 4.5, η αύξηση του πάχους του οπλισμού επηρεάζει ελάχιστα την αντοχή της έδρασης του υποστυλώματος σε αξονική δύναμη στα Σημεία 1 & 2.



**Διαγράμματα 4.5: Μεταβλητή Διάμετρος Οπλισμού**

#### 4.2.6 Μεταβλητή Ποιότητα Αγκυρίων

Στη διερεύνηση το μεταβλητό στοιχείο της διατομής είναι ο αριθμός των αγκυρίων και η διατομή έχει τα εξής στοιχεία:

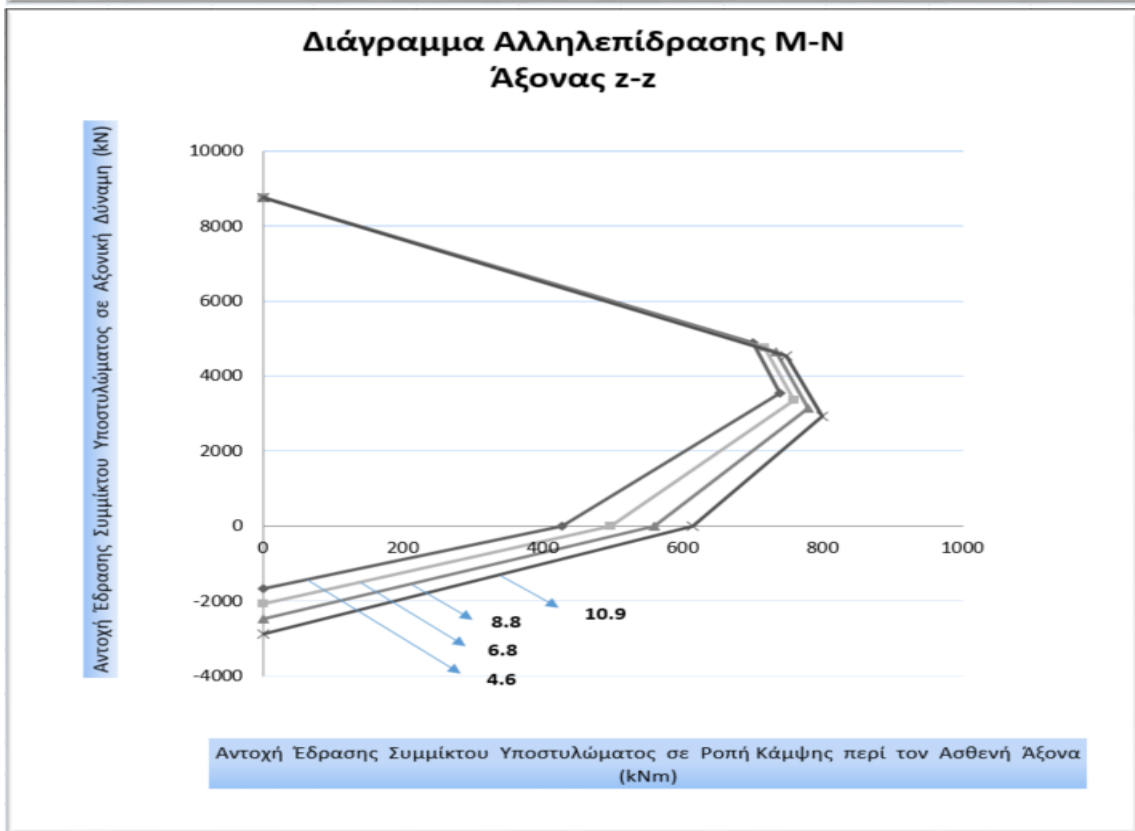
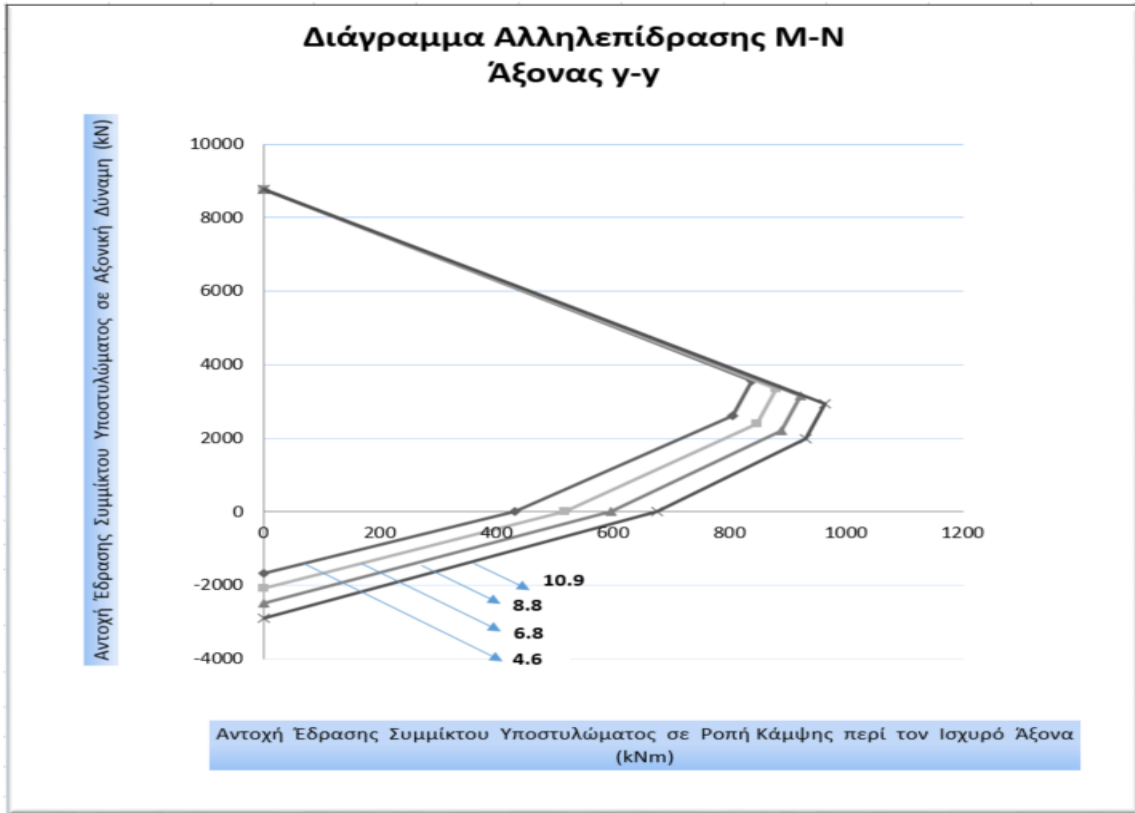
- **HEB 300**
- **C20/25**
- **S355**
- $h_{\text{tot}} = 640 \text{ mm} / b_{\text{tot}} = 640 \text{ mm}$
- $b_1 = 500 \text{ mm} / d_1 = 500 \text{ mm}$
- $t_p = 30 \text{ mm}$
- Αριθμός Αγκυρίων = **8**
- Ποιότητα Αγκυρίων = **ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ**
- Διάμετρος οπλισμού = **14 mm**

#### Συμπέρασμα:

Στα Διαγράμματα 4.6 είναι εμφανές πως η αύξηση της ποιότητας των αγκυρίων δεν επηρεάζει την αντοχή της διατομής της έδρασης έναντι καθαρής θλιπτικής αξονικής δύναμης. Αντιθέτως, επηρεάζει σημαντικά την αντοχή της διατομής της έδρασης έναντι καθαρής εφελκυστικής αξονικής δύναμης. Η αύξηση αυτή είναι σημαντική καθώς για τους κοινούς κοχλίες ποιότητας 4.6 η αντοχή 1670 kN, γίνεται για τους κοχλίες υψηλής αντοχής 8.8 και 10.9, 2483 kN και 2889 kN αντίστοιχα.

Παρατηρείται τόσο στον ισχυρό όσο και στον ασθενή άξονα αύξηση της καθαρής καμπτικής ροπής της διατομής της έδρασης και η αύξηση αυτή είναι της τάξης των 200 kNm περίπου.

Τέλος, όσο αυξάνεται η ποιότητα των αγκυρίων στα Σημεία 1 και 2 των δύο αξόνων, παρατηρείται μικρή αύξηση της αντοχής έναντι καμπτικής ροπής αλλά και ταυτόχρονη μείωση της αντοχής έναντι θλιπτικής αξονικής δύναμης.



Διαγράμματα 4.5: Μεταβλητή Ποιότητα Αγκυρίων

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βάγιας Ι. (2003) «Σιδηρές κατασκευές, Ανάλυση και διαστασιολόγηση». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα
2. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2005) «Σχεδιασμός δομικών έργων από δομικό χάλυβα». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα
3. Βάγιας Ι. (2010) «Σύμμικτες κατασκευές από χάλυβα και οπλισμένο σκυρόδεμα, 3<sup>η</sup> έκδοση». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα
4. Βάγιας Ι., Ερμόπουλος Ι., Ιωαννίδης Γ. (2013) «Σχεδιασμός δομικών έργων από δομικό χάλυβα με παραδείγματα εφαρμογής». Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα